

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА ПРОМИСЛОВОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ**

«На правах рукопису»
УДК 004.942:519.876

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
_____ Ю.С. Ямненко
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 2018 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності _____ 171 Електроніка
(код і назва)

спеціалізації _____ Електронні компоненти і системи

на тему: Система прогнозованого керування відбором енергії від сонячної
електростанції

Виконав: студент 2 курсу, групи ДС-71мп
(шифр групи)

Куцаченко Євгеній Русланович
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник доцент каф. ПЕ, к.т.н. Клен К.С. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент доц. каф. ЕІ, к.т.н., доц. Попов А.О. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2018 року

1) Куцаченко Є. Р., Клен К. С. Вибір параметрів фотоелемента для моделювання сонячної панелі // Матеріали Всеукраїнської Науково-практичної конференції «Новітні Технології Сучасного Суспільства» (НТСС-2018). - 2018. - Т. 21, № 6. - С. 48-50. - Режим доступу: http://inel.stu.cn.ua/ntss/NTSS_2018_tesy.pdf. 2) В.Я. Жуйков, К.С.

Клен, Є.Р. Куцаченко Імітаційне моделювання руху проєкції хмар над площиною сонячної електростанції. // Мікросистеми, Електроніка та Акустика. – 2018.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання «03» вересня 2018 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строки виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд літератури	03.09.2018-20.09.2018	виконано
2	Розрахунок параметрів системи	11.10.2018-24.10.2018	виконано
3	Моделювання роботи сонячної електростанції у середовищі MATLAB Simulink	28.10.2018-28.11.2018	виконано
4	Розробка стартап-проекту	29.11.2018 – 04.12.2018	виконано

Студент

(підпис)

Куцаченко Є.Р.
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Клен К.С.
(ініціали, прізвище)

АНОТАЦІЯ

В магістерській дисертації розглядається задача створення системи керування відбором енергії від сонячної електростанції з урахуванням впливу хмарного покриву. Наукова новизна отриманих результатів полягає у вперше розробленій моделі сонячної електростанції з врахування напрямку руху проекції хмарного покриву. Вперше запропоновано прогнозування напрямку руху проекції хмарного покриву шляхом вимірювання струмів та напруг відповідних стійок сонячних панелей. За допомогою розробленої моделі роботи сонячної електростанції та імітаційної моделі вектору руху проекції хмарного покриву у програмному середовищі MATLAB Simulink даються рекомендації щодо просторового розміщення та орієнтації сонячних панелей сонячної електростанції для забезпечення її роботи у режимі відбору максимальної потужності.

Ключові слова: Сонячна електростанція, Сонячна Панель, Фотоелемент, Віртуальна симуляція, Інтенсивність сонячного випромінювання, MATLAB Simulink.

АНОТАЦИЯ

В магистерской диссертации рассматривается задача создания системы управления отбором энергии от солнечной электростанции с учетом влияния облачного покрова. Научная новизна полученных результатов заключается впервые разработанной модели солнечной электростанции с учетом направления движения проекции облачного покрова. Впервые предложено прогнозирования направления движения проекции облачного покрова путем измерения токов и напряжений соответствующих стоек солнечных панелей. С помощью разработанной модели работы солнечной электростанции и имитационной модели вектора движения проекции облачного покрова в программной среде MATLAB Simulink даются рекомендации по пространственному размещению и ориентации солнечных панелей солнечной

электростанции для обеспечения ее работы в режиме отбора максимальной мощности.

Ключевые слова: Солнечная электростанция, Солнечная панель, Фотоэлемент, Виртуальная симуляция, Интенсивность солнечного излучения, MATLAB Simulink.

ANOTATION

In the master's thesis the problem of creating a control system for the selection of energy from a PV-array is considered taking into account the influence of cloud cover. The scientific novelty of the results is the first developed model of the solar power plant, taking into account the direction of motion of the projection of the cloud cover. For the first time it was proposed to predict the direction of motion of the projection of cloud cover by measuring the currents and voltages of the corresponding racks of the solar panels. With the help of the developed model of the PV-array and the simulation model of the motion vector of the projection of cloud cover in the software environment MATLAB Simulink recommendations on the spatial location and orientation of the solar panels of the PV-array to ensure its operation in the mode of selection of maximum power is given.

Keywords: PV-array, Solar Panel, Photocell, Virtual Simulation, Solar Irradiance, MATLAB Simulink.

ЗМІСТ

	СТ.
ВСТУП	8
1. ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ТА РОБОТИ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ.....	12
1.1 Огляд сонячних електростанцій на території України	12
1.2 Особливості роботи сонячних електростанцій	17
1.3 Принцип роботи та методи створення фотоелемента	21
1.4 Різновиди хмар на території України.....	29
1.5 Алгоритми та пристрої відбору максимальної потужності	34
Висновки до першого розділу	46
2. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ	47
2.1. Розрахунок параметрів моделі фотоелемента	47
2.2. Розрахунок параметрів сонячної панелі.....	52
2.3. Розрахунок параметрів підвищуючого широтно-імпульсного перетворювача.....	54
2.4. Розрахунок параметрів понижуючого широтно-імпульсного перетворювача.....	56
Висновки до другого розділу	57
3. МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ У СЕРЕДОВИЩІ MATLAB SIMULINK	59
3.1. Модель фотоелемента та сонячної панелі.....	59
3.2. Модель підвищуючого та понижуючого широтно-імпульсного перетворювача	61
3.3. Модель вектору руху проекції хмарного покриву	64
3.4. Моделювання роботи сонячної електростанції.....	66
Висновки до третього розділу	72
4. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП – ПРОЕКТУ	73
4.1. Опис ідеї проекту (технології).....	75
4.2. Технологічний аудит ідеї проекту	77

4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	77
4.4. Розробка маркетингової програми стартап-проекту	80
Висновки до четвертого розділу	82
ВИСНОВКИ	84
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	85
ABSTRACT	88

ВСТУП

Актуальність теми. В останні десятиліття у системах електроживлення світу та України широко використовуються електростанції з відновлювальними джерелами енергії, частка якої вже складає 1,8% енергетики України. Сонячні електростанції (СЕС) є відновлювальними джерелами електричної енергії і широко застосовуються для живлення електронної апаратури та побутових споживачів. У 2010 році Україна не мала жодної великої СЕС, а 2011 в країні вже працювали батареї потужністю 67,55 МВт, у Криму було збудовано найбільший сонячний парк Європи та світу. За короткий час Україні вдалося зробити ривок і вийти в перші ряди за темпами розвитку фотовольтаїки. Встановлена пікова потужність СЕС в Україні в 2017 році становила 742 МВт [3].

Фотовольтаїкою є метод генерації електроенергії шляхом перетворення енергії сонячного випромінювання у постійний електричний струм з використанням напівпровідникових матеріалів, які проявлять фотоелектричний ефект. Фотоелектрична система використовує сонячні панелі (СП), які складаються із множини фотоелементів (ФЕ) для отримання корисної сонячної електроенергії.

Виробництво електроенергії за допомогою СП досить давно розглядається як екологічно чиста стала енергетична технологія, яка основана на використанні найбільш доступного і багатого джерела відновлюваної енергії планети – енергії Сонця. Пряме перетворення сонячного світла в електроенергію відбувається без будь-яких рухомих механізмів чи викидів у довколишнє середовище під час експлуатації СП. Ця технологія добре зарекомендувала себе, у вигляді фотоелектричних систем, які використовуються вже понад п'ятдесят років в спеціалізованих галузях, а підключені у мережу фотоелектричні системи використовуються вже понад 20 років [4].

З подальшими досягненнями в галузі технологій і збільшення масштабів виробництва і його вдосконалення вартість СП постійно знижувалася з часу коли були виготовлені перші ФЕ [4, 5], що зробило електроенергію, здобуту таким чином, не менш економічно ефективною ніж енергію здобуту традиційними джерелами електроенергії у досить багатьох географічних регіонах [6]. З урахуванням сучасних технологій, енергія, яка витрачається на виробництво ФЕ окупається за 1.5 (в Південній Європі) - 2.5 роки (в Північній Європі) [7].

Максимальний рівень енергії, що може бути отримана від СЕС визначається середньомісячною інтенсивністю сонячного випромінювання, загальною площею основних елементів генерування – сонячних панелей та коефіцієнтом корисної дії. Інтенсивність, в свою чергу, залежить від географічного положення, кліматичних умов, часу доби, прозорості атмосфери, наявності хмар, природи основної поверхні та ін. [8, 9].

Існує декілька методів оцінки рівня енергії, що може бути отримана від СП, в тому числі: 1) використання світлових датчиків; 2) фіксація положення робочої точки на вольт-амперній характеристиці та кривій потужності СП; 3) використання алгоритмів для знаходження точки максимальної потужності. Для оцінки рівня енергії, що може бути отримана від СЕС необхідно вимірювати струм на виході окремих сонячних панелей.

Тому актуальною є задача оцінки залежності загального струму СЕС від інтенсивності сонячного випромінювання та струмами на виході окремих сонячних панелей та відбір від них максимальної потужності. Для вирішення цієї задачі необхідно розробити імітаційну модель руху проекції хмар над площиною СЕС та систему керування, що буде це враховувати та забезпечувати режим відбору максимальної потужності від СЕС.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.
Дослідження за темою магістерської дисертації проводилася у відповідності

до наукових напрямків кафедри промислової електроніки КПІ ім. І. Сікорського.

Мета і завдання досліджень. Метою даної роботи є розробка системи керування сонячною електростанцією з врахуванням впливу руху хмарного покриву. Для досягнення мети в роботі вирішуються такі задачі:

1. Аналіз сучасних систем електроживлення з сонячними електростанціями.
2. Визначення параметрів та побудова моделі сонячної електростанції.
3. Комп'ютерне моделювання роботи сонячної електростанції з врахуванням напрямку вектора руху проекцій хмарного покриву.

Об'єктом дослідження є процес відбору енергії від сонячних панелей з врахуванням впливу напрямку руху проекції хмарного покриву.

Предметом дослідження є системи електроживлення з сонячними панелями.

Методи дослідження. При розв'язанні поставлених в роботі завдань було використано теорію електричних кіл та математичні методи розв'язку диференціальних рівнянь. Моделювання процесів у сонячній електростанції проводилося з використанням програмного пакету Matlab Simulink.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

1. Вперше розроблено модель сонячної електростанції з врахування напрямку руху проекції хмарного покриву.
2. Прогнозування напрямку руху проекції хмарного покриву здійснюється шляхом вимірювання струму відповідних стійок сонячних панелей.

Практичне значення отриманих результатів:

На основі результатів моделювання даються рекомендації щодо просторового розміщення та орієнтації сонячних панелей сонячної електростанції для забезпечення її роботи у режимі відбору максимальної потужності.

Особистий внесок здобувача. У роботах опублікованих із співавторами, автору у [1] належить пошук та аналіз інформації щодо вибору параметрів фотоелемента для моделювання сонячної панелі, редагування, оформлення; У [2] пошук та аналіз інформації щодо методів імітаційного моделювання руху проекції хмар над площиною сонячної електростанції., редагування, оформлення, розробка моделі сонячної електростанції, підвищуючого та понижуючого широтно-імпульсного перетворювача та вектора руху проекції хмарного покриву над сонячною електростанцією.

Апробація роботи.

Результати дисертаційних досліджень доповідалися та обговорювалися на всеукраїнська науково-практичної конференції «Новітні Технології Сучасного Суспільства» (НТСС-2018). - 2018, Чернігів.

Публікації. Основні положення і результати, отримані в дисертаційній роботі, були описані в наступних статтях:

1. Куцаченко Є. Р., Клен К. С. Вибір параметрів фотоелемента для моделювання сонячної панелі // Матеріали Всеукраїнської Науково-практичної конференції «Новітні Технології Сучасного Суспільства» (НТСС-2018). - 2018. - Т. 21, № 6. - С. 48-50. - Режим доступу: http://inel.stu.cn.ua/ntss/NTSS_2018_tesy.pdf.

2. Жуйков В.Я., Клен К.С., Куцаченко Є.Р. Імітаційне моделювання руху проекції хмар над площиною сонячної електростанції. // Мікросистеми, Електроніка та Акустика. – 2018.

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел зі 27- найменувань. Загальний обсяг магістерської роботи становить 91 сторінок, у тому числі 70 сторінок основного тексту, 33 рисунки та 22 таблиць.

1. ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ТА РОБОТИ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

1.1. Огляд сонячних електростанцій на території України

Сонячна енергетика України є відносно новою галуззю у електроенергетиці України і яка має стрімкий розвиток. Річне надходження сонячного випромінювання в Україні перебуває на одному рівні з країнами, які на сьогоднішній день активно використовують сонячні електростанції (Швеція, Німеччина, США тощо). Сонячні електростанції, які ще кілька років тому можна було зустріти тільки на півдні країни, стають поширеним новим бізнесом практично в усіх регіонах. У 2017 році, за даними Держенергоефективності, загальна потужність введених в експлуатацію СЕС склала 211 МВт [10]. Це рекорд для материкової України. У нинішньому році розвиток триває. З 2011 року в нашій країні побудовано і введено в експлуатацію СЕС на 742 МВт. У загальному обсязі виробленої електроенергії в Україні, за даними ДП Енергоринок, на сонце вже припадає 0,53%, водночас як у 2016-му - 0,36%. Це все ще невеликі цифри. Але серед усіх компаній, що працюють за зеленим тарифом, частка СЕС зростає найшвидше.

Першими СЕС на територію України займалися іноземні інвестори. Австрійська компанія Activ Solar, взялася за проектування сонячного парку в селі Родникове (Сімферопольський район, АРК) і в короткий термін побудувала станцію потужністю 7,5 МВт, яка стала найбільшою на пострадянських просторах. У лютому 2011 року пілотний сонячний парк запрацював на повну потужність [11].

Компанія ввела в експлуатацію СЕС «Омао Солар» потужністю 20 мегават у Сакському районі АР Крим. За інформацією Activ Solar, це лише 1-а черга проекту «Охотникове» — однієї з найбільших PV-інсталяцій у світі. «Омао Солар» складається приблизно з 90 000 кристалічних сонячних модулів, встановлених на площі 40 га. Станція буде виробляти 25 000 мегават-

годин «чистої» електроенергії на рік, якої досить, щоб задовольнити потреби близько 5000 домашніх господарств і дозволить скоротити до 20000 тонн викидів вуглекислого газу на рік.

23 грудня 2011 року поблизу села Перового в Криму завершено будівництво найбільшої СЕС у світі.

Після пілотного проекту у Родниковому розпочалося будівництво СЕС у різних регіонах України. Наприклад, у Вінницькій області у січні розпочала роботу СЕС потужністю 35 кВт, змонтована на даху виробничого будинку Гніванського шиноремонтного заводу.

Компанія «Зоря 2003» запустила мікросонячну електростанцію в Луганській області. Її панелі потужністю 15 кВт розташовано над трасою «Харків-Ростов».

У стадії реалізації ще кілька проектів з будівництва сонячних станцій, наприклад, в Одеській і Вінницькій областях.

У грудні 2011 року, австрійська компанія Activ Solar завершила будівництво в Криму останньої, п'ятої, 20-мегаватної черги сонячного парку Перово, в результаті чого його сумарна встановлена потужність зросла до рекордних 100 МВт.

Перово у складі п'яти черг, стало найбільшим фотоелектричним парком у світі за показником встановленої потужності. За ним ідуть канадська електростанція Sarnia (97 МВт), італійська Montalto di Castro (84,2 МВт) і німецька Finsterwalde (80,7 МВт).

Завершує світову п'ятірку найбільших фотоелектричних парків інший проект у Криму — 80-мегаватна СЕС Охотникове, побудована також у 2011 році, в Сакському районі півострова.

У липні 2012 року компанія «Енергоінвест» (Вінницька область) завершила будівництво Слобода-Бушанської СЕС потужністю 1,875 МВт в Ямпільському р-ні Вінницької області.

У серпні 2012 року компанія «Сонячна енергія плюс» побудувала та ввела в експлуатацію СЕС потужністю 5,4 МВт, розташовану в Ужгородському районі Закарпатської області. Фотоелектричні панелі будуть щорічно виробляти близько 4,8 млн кВт-год електроенергії, достатньої для забезпечення понад 1,3 тис. домогосподарств із щомісячним споживанням 300 кВт-год.

У жовтні 2012 року група компаній «Ekotechnik Praha» (Чехія) запустила СЕС в селі Ясенівка Ярмолинецького району Хмельницької області. Її потужність становить 1 МВт, яку група компаній планує з часом підвищити до 5 МВт. Електростанція займає земельну ділянку площею 2,5 га, пізніше її буде розширено до 10 га. Станція буде виробляти 2 300 000 кВт-годин на рік.

У грудні 2012 року на території приміського села Ралівка Самбірського району запрацювала перша на Львівщині СЕС потужністю 1,1 МВт. Вона складається з 3888 сонячних елементів. Побудована СЕС завдяки ТзОВ «Еко-Оптіма» спільно з чеськими інвесторами.

У грудні 2012 року компанія «Енергоінвест» ввела в експлуатацію 4 чергу Гальжбіївської СЕС у Вінницькій області. Загальна потужність 4 черг становить 1,264 МВт.

У 2013 р. холдинг Martifer Solar (Португалія) побудував СЕС встановленою потужністю 4,5 МВт і 7 МВт в Томашпільському та Бершадському районах Вінницької області для Rengy Development.

У 2013 р. ТОВ «Геліос Енерджі» завершило будівництво наземної мережевої СЕС встановленою потужністю 3,993 МВт в селі Радча Тисменицького району Івано-Франківської області.

Протягом 2014-2017 років українці інвестували майже 52 млн євро в будівництво СЕС для приватних домогосподарств. В цілому з 2015 року сонячну енергію почали використовувати 3010 домогосподарств. Індивідуальна потужність приватних сонячних електроустановок – до 30 кВт, а загальна – 51 МВт.

В січні 2018 року біля села Підбережжя (Івано-Франківська область) виділили 116,8 гектарів для будівництва та обслуговування СЕС.

У Херсонській області в селі Музиківка планують побудувати фотогальванічну електростанцію, роботи почали уже в лютому 2018 року. Площа об'єкту складе 7 га, загальна потужність – 5 МВт. СЕС в Музиківці стане другою в Білозерському районі. Першу СЕС потужністю 9 МВт відкрили 12 червня 2017 року.

У Бериславі, що на Херсонщині, запрацювала перша у місті СЕС потужністю 8,2 МВт. Більше 30 тис. сонячних модулів генеруватимуть близько 10 МВт*год «чистої» електроенергії у рік.

Було оголошено про плани будівництва СЕС в Черкаській Лозовій (Харківська обл.). Мова йде про будівництво першої черги електростанції потужністю в 1 МВт. Вона займе площу в 2 га.

Комунальне підприємство “Альтен” Вознесенської міської ради Миколаївської області за результатами тендеру 15 січня замовило будівництво СЕС за 68 млн грн потужністю 2,24 МВт.

У місті Тростянець Сумської області навесні 2018 року розпочали будівництво СЕС.

Бельгійська компанія Upgrade Energy має намір побудувати на території Житомирської області СЕС потужністю 25-30 МВт. Це передбачає створення 45 робочих місць. Очікується, що загальний обсяг інвестицій в реалізацію даного проекту досягне 21-24 млн. євро. Проект планують реалізувати протягом 2018-2020 років.

Львівська фірма «Інвестмен енерджі компанії» побудувала СЕС у селі Луквиця, Богородчанського району, потужністю 4500 кВт.

Французька компанія Global Ecorpower SA має намір збудувати СЕС потужністю 20 МВт на території Хорошівської ОТГ, в Житомирській області.

У селі Росоша Липовецького району на Вінниччині готуються до будівництва СЕС.

На початку березня 2018 року ДніпроОДА та ірландська «Altostrata» підписали угоду про будівництво СЕС потужністю 250 МВт загальною вартістю 255 млн євро поблизу села Левадки у Павлоградському районі Дніпропетровської області.

В Україні протягом чотирьох місяців 2018 року було збільшено обсяги виробництва сонячної електроенергії на 52% – до 245 млн кВт.

У Дніпропетровській області на землях Троїцького сільради буде побудована нова СЕС. Загальна площа станції складе 210 га. Фотоелектричні сонячні елементи займатимуть площу в 183 га. Передбачувана потужність електростанції – 90 МВт.

У селі Ярове Тарутинського району закінчено першу чергу будівництва СЕС «Ярове». Встановлена потужність по фотоелектричним модулям СЕС складає 4158 кВт. У смт Сергіївка Білгород-Дністровської міської ради введено в експлуатацію нову СЕС по вул. Транспортна, 3. Її встановлена потужність складає 350 кВт.

У Вінниці вже стартувало будівництво сучасного заводу з виробництва сонячних панелей. Проектна потужність заводу складе 400 МВт на рік, а прогнозований річний обсяг товарної продукції очікується в обсязі \$180 млн. Завод буде компанія KNESS GROUP.

У 2019 році у Знам'янському районі Кропивницької області розпочнеться будівництво СЕС загальною потужністю понад 55 МВт.

У табл. 1.1 наведено встановлена пікова потужність СЕС України.

Оскільки, у відповідності до енергетичної стратегії України [12] передбачається збільшення встановленої потужності СЕС, доцільним є дослідження їх принципів побудови та роботи.

Таблиця 1.1.

Рік	МВт
2009	0

2010	10
2011	180
2012	320
2013	560
2014	411
2015	432
2016	568
2017	742

1.2. Особливості роботи сонячних електростанцій

Сонячна електростанція - інженерна споруда, що перетворює сонячне випромінювання в електричну енергію. Одним з основних стримуючих чинників розвитку сонячної енергетики є проблема вибору місця для розміщення сонячних електростанцій. Потужність сонячного випромінювання на поверхні землі при безхмарному небі становить близько 1 кВт / м². Для отримання електроенергії в промислових масштабах необхідні потужності близько мільйона кіловат. Це означає, що для промислової СЕС з коефіцієнтом корисної дії близько 10% і з урахуванням нерівномірності потужності сонячного випромінювання протягом доби необхідна площа в десятки квадратних кілометрів.

Майданчик для розміщення приймачів сонячного випромінювання повинна бути рівною, придатної для обслуговування і ремонту устаткування, вільної від господарської діяльності людини.

Ідеальним рішенням цієї проблеми є розміщення СЕС на поверхні морів і океанів, площа яких в п'ять разів більше, ніж площа суші. Однак, традиційні СЕС не придатні для морського базування. Способи перетворення сонячного випромінювання різні і залежать від конструкції електростанції. В роботі розглядається СЕС на основі фотоелектричних модулів [13].

Фотоелектричні СЕС безпосередньо перетворюють сонячну енергію в електроенергію за допомогою явища фотоефекту. СЕС даного типу зображено на рис. 1.1.

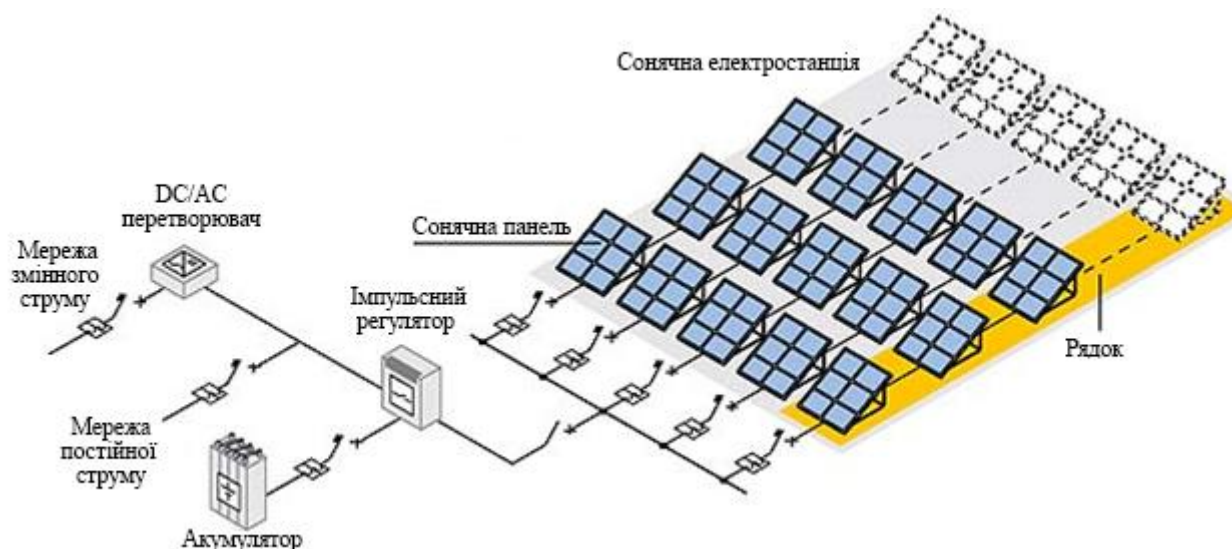


Рис. 1.1. Склад фотоелектричних СЕС

Головним елементом фотоелектричних станцій є сонячні панелі. Вони складаються з фотоелементів і можуть перетворювати сонячну енергію в постійний електричний струм.

Фотоелектричні перетворювачі відрізняються надійністю, стабільністю, а термін їх служби практично не обмежений. Вони можуть перетворювати як прямий, так і розсіяний сонячне світло. Невелика маса, простота обслуговування, модульний тип конструкції дозволяє створювати установки будь-якої потужності. До недоліків СП можна віднести високу вартість і низький ККД до 30%.

СП використовують для енергопостачання автономних споживачів малої потужності, живлення радіонавігаційної і малопотужної радіоелектронної апаратури, приводу експериментальних електромобілів і літаків.

При побудові сонячних електростанцій неминуче виникає питання - як з'єднувати сонячні панелі і чим відрізняються варіанти підключення [14]. Існують 3 варіанти з'єднання СП між собою:

- Послідовне з'єднання;
- Паралельне з'єднання;
- Комбіноване (послідовно-паралельне) з'єднання.

Для того щоб зрозуміти чим вони відрізняються, звернемося до основних характеристик сонячних панелей:

- напруга U_n - номінальна напруга СП (як правило 12В або 24В, але існують і винятки);
- напруга U_{mp} - напруга при якій панель видає максимальну потужність;
- напруга U_{oc} - напруга холостого ходу (важливо при виборі імпульсного регулятора для акумуляторної кислотної батареї);
- напруга U_{dc} - максимальна напруга у системі;
- струм I_{mp} - струм при максимальній потужності панелі;
- струм I_{sc} - струм короткого замикання, максимально можливий струм панелі.

Потужність СП визначається як добуток напруги та струму в робочій точці, при якій від панелей відбирається максимальна потужність і що називається точкою максимальної потужності.

Вихідні характеристики та вибір необхідного імпульсного регулятора залежить від схеми з'єднань СП.

СП можна з'єднати наступним чином:

1) Послідовне з'єднання СП (рис. 1.2)

При послідовному з'єднанні декількох панелей, напруга всіх панелей буде складатися. Струм системи буде дорівнювати струму панелі з мінімальним струмом. З цієї причини не рекомендується з'єднувати послідовно панелі з різним значенням струм максимальної потужності, оскільки працювати вони будуть не в повну силу.

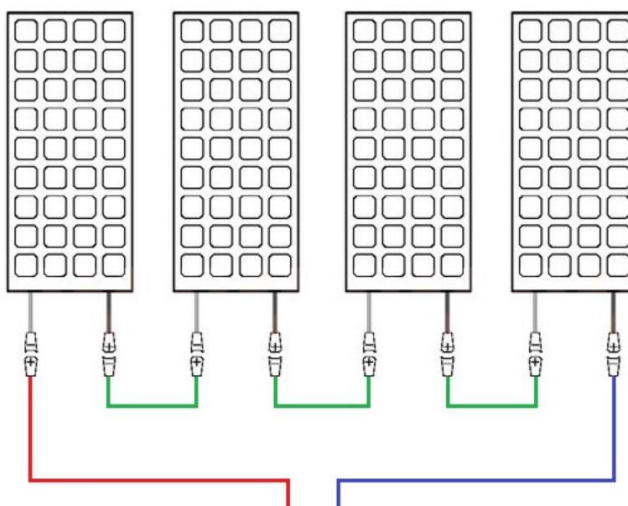


Рис. 1.2. Послідовне з'єднання СП

2) Паралельне з'єднання СП (рис. 1.3)

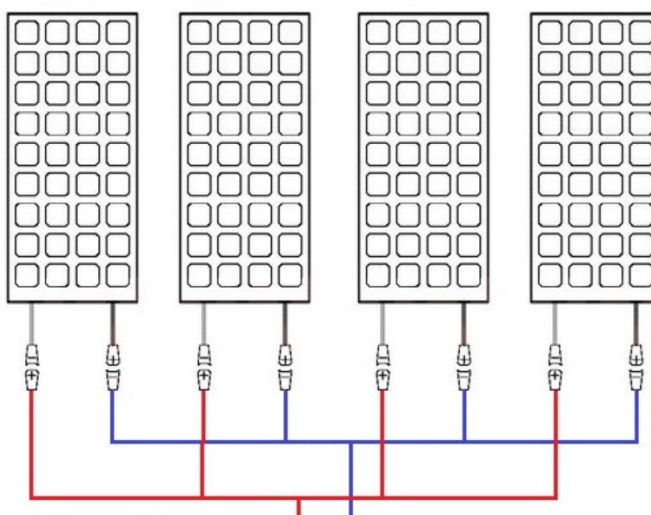


Рис. 1.3. Паралельне з'єднання СП

При такому з'єднанні напруги на виході кожної панелі будуть рівні між собою і дорівнювати напрузі на виході з системи панелей. Струм від всіх панелей буде складатися. Таке з'єднання дозволяє, не піднімаючи напруги збільшити струм від панелей.

3) Комбіноване (послідовно-паралельне) з'єднання СП (рис. 1.4)

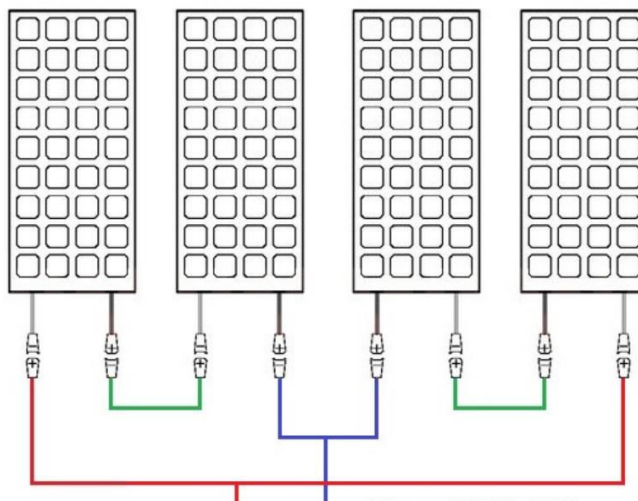


Рис. 1.4. Комбіноване з'єднання СП

Останній тип з'єднання об'єднує в собі два попередніх. Застосовуючи цю схему з'єднання панелей, ми можемо регулювати напругу і струм на виході з системи кількох панелей, що дозволить підібрати найбільш оптимальний режим роботи всієї СЕС.

Продуктивність СЕС загалом оцінюється відповідно до їх максимальної потужності постійного струму (Вт) в стандартних умовах випробувань. Стандартні умови випробувань визначаються робочою температурою ФЕ 25 °С (77°F), рівнем падіння сонячного випромінювання 1000 Вт/м² та спектральною щільністю випромінювання повітряної маси 1,5.

1.3. Принцип роботи та методи створення фотоелемента

Напівпровідникові фотоелементи є найбільш ефективними пристроями для перетворення сонячної енергії в електричну, оскільки дозволяють здійснити прямий, одноступінчастий перехід енергії. На явищі фотоефекту засноване базується перетворення енергії в ФЕ, що виникає в неоднорідних напівпровідникових структурах при впливі сонячного випромінювання.

Фотоефект (перетворення енергії світла в електроенергію) був відкритий в 1839 році молодим французьким фізиком Едмондом Беккерелем. Одного разу 19-річний Едмонд, проводячи досліди з маленькою електролітичної батареєю з двома електродами виявив, що на світлі деякі матеріали виробляють електричний струм. Це відбувається через наявність квантів світла, тобто фотонів, які несуть у собі певний рівень енергії. Різним довжинах хвиль світла, сприймаються нами, як різні кольори (червоний, синій, жовтий і т.д.) відповідають своєму енергетичному рівню. Принцип роботи ФЕ зображено на рис. 1.5. Потрапляючи на напівпровідниковий шар, світло передає свою енергію електрону, який вибивається зі своєї орбіти в атомі, проходячи заборонену зону у р-п-переході і потрапляє в зону провідності, створюючи таким чином фотострум.

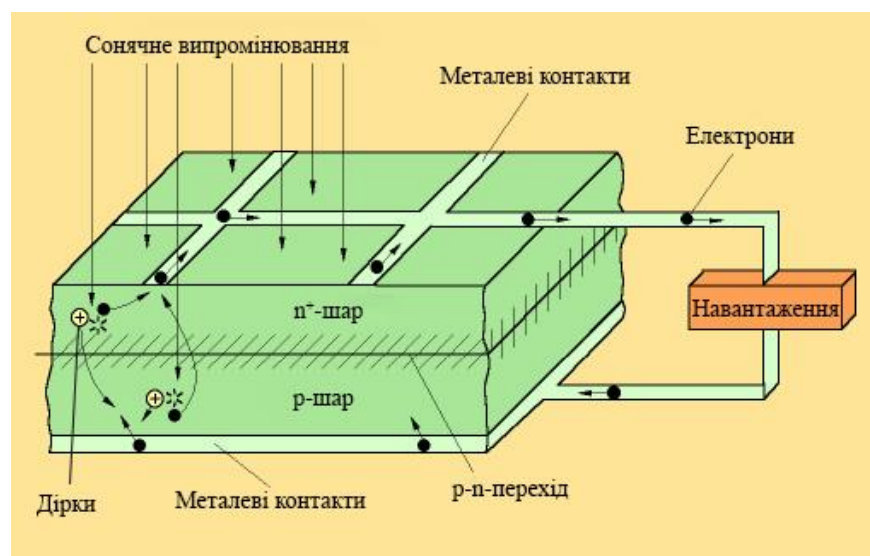


Рис. 1.5. Принцип роботи ФЕ

До створення першої СП пройшло ще понад сорок років: в 1883 р Чарльз Фрітс вкрив кремнієвий напівпровідник дуже тонким шаром золота і отримав СП, ККД якої склав не більше 1% [15]. Перший штучний супутник із застосуванням ФЕ був запущений СРСР у 1957 році, а в 1958 році США здійснили запуск супутника Explorer 1 з СП [16]. Ці дві події показали, що СП можуть служити єдиним і достатнім джерелом енергопостачання

геостаціонарних супутників, що підтвердило компетентність СП. Це був важливий момент у розвитку даної технології, так як в результаті успішних запусків кілька урядів інвестували колосальний обсяг коштів в її розробку. Починаючи з 2000 р в арифметичній прогресії зростала ефективність вироблених кремнієвих моно- та полікристалічних ФЕ, досягнувши до 2007 року максимальних значень 19%. Інші ж технології через меншу ефективність виявилися обділені увагою розробників до недавнього часу. Бажання збільшити ефективність та створення дорогих ФЕ виправдовували себе тільки для застосування в космосі, де важливий кожен грам і квадратний сантиметр. Для практичного використання СП на Землі були потрібні порівняно недорогі і якісні елементи, придатні для масового виробництва і застосування. Саме такими і стали кремнієві СП. В даний час лідером є моно- і полікристалічний кремній - 87% світового ринку. Аморфний кремній становить 5% ринку, а тонкоплівкові кадмій-телуrowі елементи - 4,7%. Основним матеріалом для виробництва сонячних фотоелектричних панелей залишається кремній. Причиною є його повсюдна доступність. Чималу роль відіграє і розробленість технології, оскільки кремній дуже широко використовується в різних видах електроніки. Основою для СП є тонкі зрізи кремнієвих кристалів. Чим тонше шар - тим менше собівартість. Паралельно підвищується ефективність.

Неоднорідність структури ФЕ може бути отримана легуванням одного і того ж напівпровідника різними домішками (створення р-п-переходів) або шляхом з'єднання різних напівпровідників з різною шириною забороненої зони - енергії відриву електрона з атома (створення гетеропереходів), або ж за рахунок зміни хімічного складу напівпровідника, що приводить до появи градієнта ширини забороненої зони (створення варізонних структур). Можливі також різні комбінації перерахованих способів.

Ефективність перетворення залежить від електрофізичних характеристик неоднорідною напівпровідникової структури, а також оптичних властивостей ФЕ, серед яких найбільш важливу роль грає

фотопровідність. Вона обумовлена явищами внутрішнього фотоефекту в напівпровідниках при опроміненні їх сонячним світлом.

Основні втрати енергії в ФЕ пов'язані з:

- Відбиття сонячного випромінювання від поверхні перетворювача;
- Проходженням частини випромінювання через ФЕ без поглинання в ньому;
- Розсіюванням надлишкової енергії фотонів на теплових коливаннях кристалічної ґратки;
- Рекомбінацією утворених фото-пар на поверхнях і в самому ФЕ,
- Внутрішнім опором перетворювача,

Для зменшення всіх видів втрат енергії в ФЕ розробляються і успішно застосовується різні види заходів. До їх числа відносяться:

- Використання напівпровідників з оптимальною для сонячного випромінювання шириною забороненої зони;
- Поліпшення властивостей напівпровідникової структури шляхом її оптимального легування і створення внутрішніх електричних полів;
- Перехід від гомогенних до гетерогенним і варізонних напівпровідникових структур;
- Оптимізація конструктивних параметрів ФЕ (глибини залягання р-п переходу, товщини базового шару, частоти контактної сітки і ін.);
- Застосування багатофункціональних оптичних покриттів, які забезпечують просвітлення, терморегулювання і захист ФЕ від космічної радіації;
- Розробка ФЕ, прозорих в довгохвильовій області сонячного спектра за краєм основної смуги поглинання;
- Створення каскадних ФЕ із спеціально підібраних по ширині забороненої зони напівпровідників, що дозволяють перетворювати в кожному каскаді випромінювання, що пройшло через попередній каскад, та ін .

Також істотного підвищення ККД ФЕ вдалося отримати за рахунок створення перетворювачів з двостороннім чутливістю (до +80% до вже наявного ККД одностороннього), застосування люмінесцентних перевипромінюючих структур, попереднього розкладу сонячного спектра на дві або більше спектральні області за допомогою багат шарових плівкових світлоділників (дихроїчних дзеркал) з подальшим перетворенням кожної ділянки спектру окремим ФЕ і т. д.

Кремній (основний ресурс для виробництва більшості типів СП) - другий за поширеністю елемент на нашій планеті. На кремній припадає більше чверті загальної маси земної кори. В більшості випадків ця речовина зустрічається у вигляді окису - SiO_2 . Щоб добути чистий кремній з цього з'єднання складно, навіть проблематично. Тут мають місце вартісні фактори, особливості технологій. Цікаво відзначити, що собівартість чистого «сонячного» кремнію дорівнює собівартості урану для АЕС, ось тільки запасів кремнію на нашій планеті в 100 тисяч разів більше.

Через вартість кремнію, що відбивається на роздрібній ціні ФЕ, дослідницькі центри на протязі багатьох років працюють над пошуком альтернативи.

Розглянемо типи ФЕ [17]:

- Монокристалічний кремній (рис. 1.6)

Найбільш ефективними і поширеними для широкого споживання є монокристалічні кремнієві елементи. На рис. 1.7 зображено метод виготовлення монокристалічного кремнію.



Рис. 1.6. Монокристалічний кремній

Для виготовлення таких елементів кремній очищається, плавиться і кристалізується в злитках, від яких відрізають тонкі шари (рис. 1.7). Зовні монокристалічні елементи виглядають як однотонна поверхню темно-синього або майже чорного кольору. Крізь кремній проходить сітка з металевих електродів. Ефективність такого елемента становить від 16 до 19% в стандартних умовах тестування (пряме сонячне світло, +250).

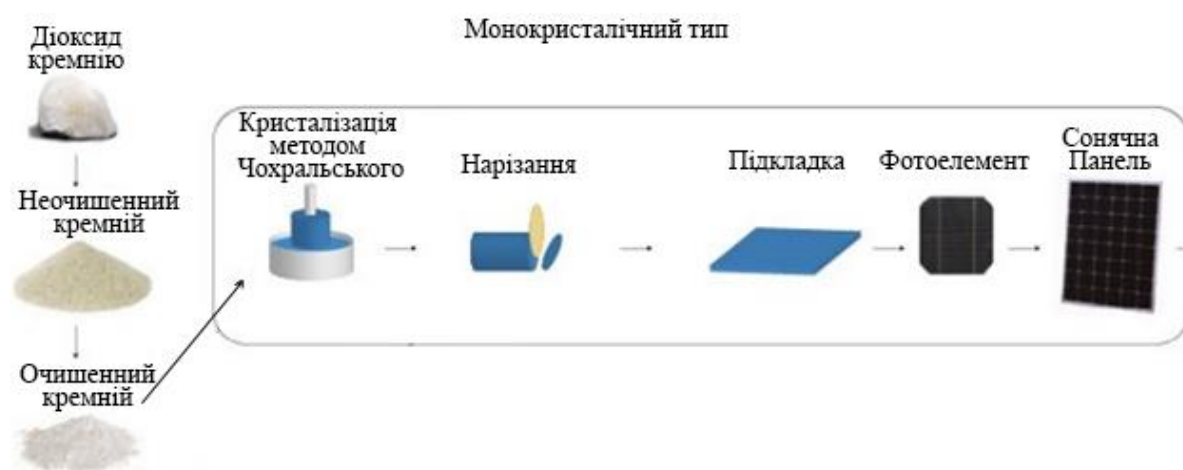


Рис. 1.7. Спосіб виготовлення монокристалічного кремнію

Термін служби таких панелей у хороших виробників становить зазвичай 40-50 років. Продуктивність за кожні 20-25 років служби поступово знижується приблизно на 20%.

- Полікристалічний кремній (рис. 1.8)

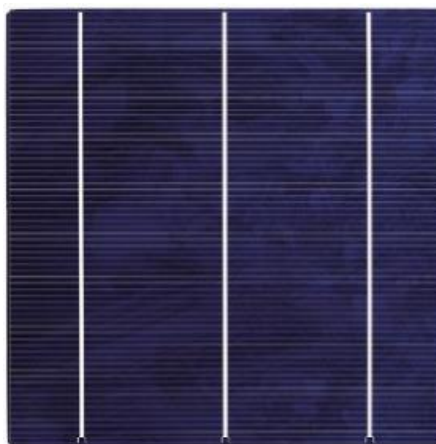


Рис. 1.8. Полікристалічний кремній

Технологія принципово не відрізняється від монокристалічних елементів, але різниця полягає в тому, що для виготовлення використовується менше чистий і дешевший кремній (рис. 1.9). Зовні це вже не однотонна поверхню, а візерунок з меж безлічі кристалів. Ефективність такого елемента становить від 14 до 15%.

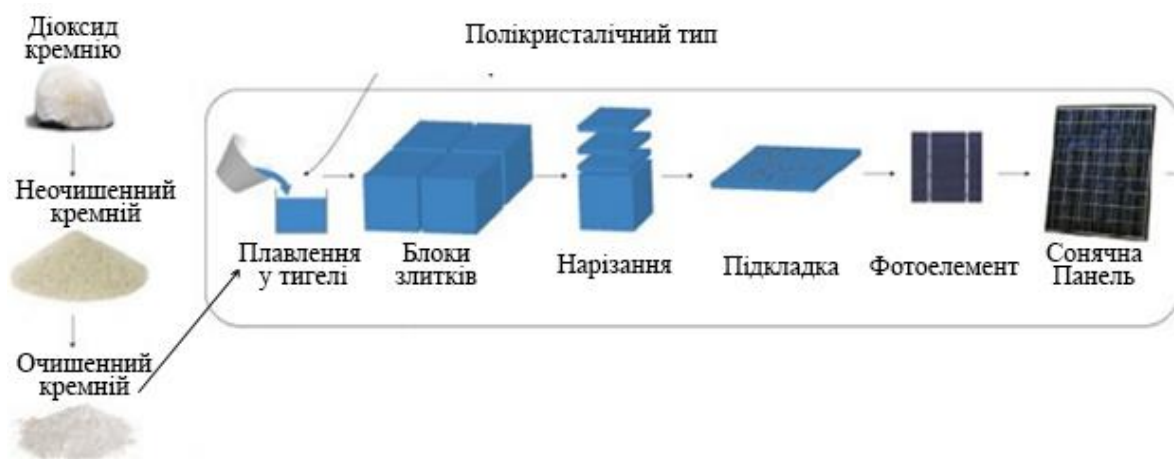


Рис. 1.9. Спосіб виготовлення полікристалічного кремнію

Проте ці панелі користуються приблизно такою ж популярністю на ринку, що і монокристалічні, оскільки пропорційно ефективності знижується ціна виробництва.

- Стрічковий кремній

Принципово такий же як і попередні типи, відрізняється лише тим, що кремній розрізаний від кристала, а нарощується тонким шаром у вигляді стрічки. Покриття антивідблиску дає райдужну забарвлення таким панелям. Ця технологія не змогла завоювати ринок, займаючи на ньому лише близько 2%.

- Аморфний кремній

У цьому типі використовуються не кристали, а найтонші шари кремнію, напилені в вакуумі на пластик, скло або метал. Цей тип є найбільш дешевим в виробництві, але володіє серйозним недоліком. Шари кремнію вигорають на світлі значно швидше, ніж у попередніх типів. Зниження продуктивності на 20% може статися вже через два місяці. Розпізнати таку панель на вигляд можна за більш бляклими сірому або темного кольору незрозумілих відтінків.

- Телурій кадмію

Цей тип тонкошарових ФЕ володіє потенційно більшою ефективністю і як проводить компонента використовує оксид олова. Ефективність становить 8-11%. За собівартістю ці елементи не набагато дешевше моно- і полікристалічних кремнієвих і володіють проблемою використання токсичного кадмію. Зараз цей тип елементів займає менше 5% загального ринку.

- Інші елементи

Крім перерахованих вище є ще багато різних сонячних елементів, які не отримали великого поширення. Потенційно перспективними є мідно-галієві, що концентрують, композитні та деякі інші елементи.

ФЕ аналогічно до СП можна з'єднувати послідовно, паралельно та комбіновано з аналогічним впливом на вихідні характеристики.

На рис. 1.10 наведені види з'єднань ФЕ.

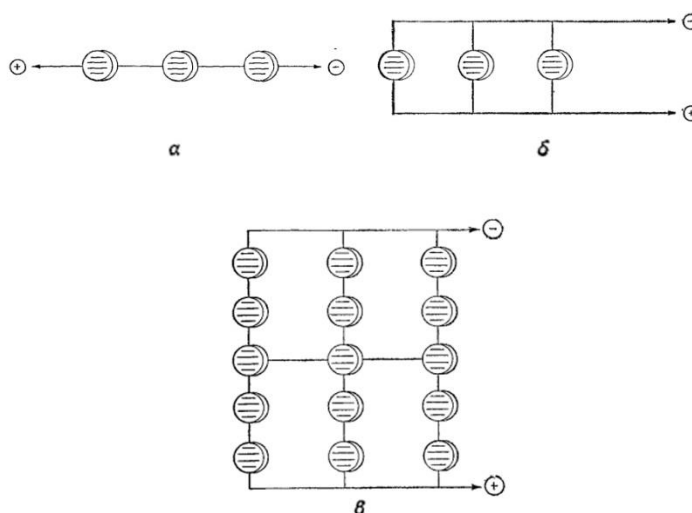


Рис. 1.10. Види з'єднань сонячних елементів: а) послідовний, б) паралельний, в) комбінований.

Враховуючи обмежену обчислювальну потужність наявної електронної обчислювальної машини в подальшому для спрощення симуляції розглядаються моделі ФЕ, їх з'єднання, та вплив зміни інтенсивності освітлення на їх вихідні характеристики.

Оскільки вихідна потужність сонячних електростанцій залежить від величини та інтенсивності сонячного випромінювання, необхідно розглянути різновиди хмарного покриття на території України.

1.4. Різновиди хмар на території України

В атмосфері в результаті конденсації виникають скупчення продуктів конденсації - крапель і кристалів, видимих неозброєним оком. Їх називають хмарами [18]. Хмарні елементи - краплі і кристали - настільки малі, що їх вага врівноважується силою тертя. Стала швидкість падіння крапель в нерухомому повітрі дорівнює кільком часток сантиметра в секунду, а швидкість падіння кристалів - ще менше. Існуючі в атмосфері турбулентний рух повітря призводить до того, що настільки малі краплі і кристали зовсім не випадають, а тривалий час залишаються в повітрі, зміщуючись, то вниз, то вгору.

Хмари переносяться повітряними течіями. Якщо відносна вологість в повітрі, що містить хмари, убиває, то хмари випаровуються. При певних умовах частина хмарних елементів укрупнююватися і обважнювати настільки, що випадає з хмари у вигляді опадів. Таким шляхом вода повертається з атмосфери на земну поверхню.

При конденсації безпосередньо біля земної поверхні скупчення продуктів конденсації називають туманами. Принципової різниці в будові хмар і туманів немає. У горах можливе виникнення хмари на самому гірському схилі. Для спостерігача, що дивиться знизу, і долини, це буде хмара, для спостерігача на самому схилі туман.

Окремі хмари існують дуже короткий час. Наприклад, час існування окремого купчасті хмари іноді обчислюється всього 10-15 хв. Це означає, що недавно виникли краплі, з яких складається хмара, знову швидко випаровуються. Але навіть тривале існування хмари не означає, що воно знаходиться в незмінному стані, тобто тривалий час складається з одних і тих же частинок. Насправді елемент хмари постійно випаровуються і виникають заново. Тривало існує певні процес хмара освіти; хмара ж є тільки видимою в даний момент частиною загальної маси води, що залучається до цього процесу.

Виваженість хмар також оманлива. Якщо хмара не змінює своєї висоти, то це ще не означає, що складові його елементи не випадають. Краплі в хмарі можуть опускатися, але досягаючи нижньої межі хмари, вони переходять в ненасичений повітря і випаровуються. В результаті хмара буде здаватися тривало знаходяться на хмарному рівні.

За фазового стану хмарних елементів хмари діляться на три класи:

1. Водяні (краплинні) хмари, що складаються тільки з крапель. Вони можуть існувати не тільки при позитивних температурах, а й при негативних (-10°C і нижче). В такому випадку краплі знаходяться в переохолоджених стані, що в атмосферних умовах цілком зазвичай.

2. Змішані хмари, що складаються з суміші переохолоджених крапель і крижаних кристалів. Вони можуть існувати, як правило, при температурах від -10°C до -40°C .

3. Крижані (кристалічні) хмари, що складаються тільки з крижаних кристалів. Вони переважають, як правило, при температурах нижче -30°C .

У теплу пору року водяні хмари утворюються головним чином в нижніх шарах тропосфери, змішані - в середніх шарах, крижані - у верхніх. У холодну пору року при низьких температурах змішані і крижані хмари можуть зберігатися до температури порядку -30°C — -35°C .

При температурах нижче -10°C переважають змішані хмари, тобто в хмарі поряд з краплями є і кристали. Найбільш високі хмари тропосфери, що спостерігаються при температурах порядку -30°C — -50°C , мають, як правило, чисто кристалічну будову.

У табл. 1.2. наводиться повторюваність (%) різних типів хмар в різних градаціях температури:

Таблиця 1.2

Хмари	Градація температури, $^{\circ}\text{C}$						
	0 — -5	-5 — -10	-10 — -15	-15 — -20	-20 — -25	-25 — -30	-30 — -35
Переохолоджені краплинні, %	71.4	50.4	34.4	18.2	11.2	3.8	2.5
Змішанні, %	28.6	46.7	57.7	60.4	54.7	47.7	32.3
Кристалічні, %	—	2.9	7.9	21.4	34.1	48.5	65.2

Наприкінці 19 століття була прийнята міжнародна класифікація хмар. Ця класифікація являє собою поділ тропосферних хмар на роди, види, різновиди за додатковими ознаками із відповідними латинськими

найменуваннями, прийнятими за міжнародною угодою. В Україні застосовуються також їхні українські еквіваленти.

Хмари можна класифікувати в різний спосіб:

- за висотою формування;
- за формою;
- внутрішньою будовою.

Кожний рід хмар спостерігається у визначеному інтервалі висот (ярусі), що залежить від широти і наведені в табл. 1.3.

Таблиця 1.3

Ярус	Тип	Висота у полярних широтах, км	Висота у помірних широтах, км	Висота у тропічних широтах, км
Верхній	Тип А, лат. Cirro, англ. High	3 — 8	5 — 13	6 — 18
Середній	Тип В, лат. Alto, англ. Midium	2 — 4	2 — 7	2 — 8
Нижній	Тип С, лат. Strato, англ. Low	до 2	до 2	до 2
Вертикальні	Тип D			

У залежності від висоти основи виділяють:

- хмари верхнього ярусу — в основному складаються з кристалів льоду, тому що вони розташовуються в помірних широтах вище 5 км, у полярних — вище 3 км, у тропічних — вище 6 км.

Хмари верхнього ярусу звичайно тонкі і білі за зовнішнім виглядом, але можуть зустрічатися і багатокольорові, коли Сонце розташоване низько над обрієм;

- хмари середнього ярусу — звичайно зустрічаються на висотах 2-7 км для помірних широт, 2-4 км — для полярних і 2-8 км — для тропічних. Оскільки їхні висоти невеликі, то вони переважно складаються з крапельок води, однак, можуть містити і кристалики льоду, коли температура досить низька;

- хмари нижнього ярусу — в основному складаються з крапельок води, тому що вони розташовуються на висотах нижче 2 км. Однак, коли температура досить низька, ці хмари можуть також містити частки льоду і сніг.

Окремо виділяють

- хмари вертикального розвитку з основою на рівні нижнього ярусу і високими вершинами (іноді до 14 км і вище). Це — купчасті хмари, що мають вид ізольованих хмарних мас, вертикальні розміри яких одного порядку з горизонтальними. Викликаються вони звичайно або температурною конвекцією, або фронтальним підйомом, і можуть рости до висоти 12 км, реалізуючи зростаючу енергію через конденсацію водяної пари в межах самої хмари.

За формою хмарних утворень виділяється 10 родів хмар, що наведені в табл. 1.4:

Таблиця 1.4

Символ	Рід	Латинська назва
	Перисті	Cirrus (Ci)
	Перисто-купчасті	Cirrocumulus (Cc)
	Перисто-шаруваті	Cirrostratus (Cs)
	Високо-купчасті	Alto cumulus (Ac)
	Високо-шаруваті	Altostratus (As)
	Шарувато-купчасті	Stratocumulus (Sc)
	Шаруваті	Stratus (St)
	Шарувато-дощові	Nimbostratus (Ns)
	Купчасті	Cumulus (Cu)
	Купчасто-дощові	Cumulonimbus (Cb)

Купчасті хмари та Шарувато-купчасті є найрозповсюдженими на території України.

Купчасті хмари — конвекційні хмари у вигляді куполів, бугрів, башт, що розвиваються в вертикальному напрямку. Вони мають вид ізольованих хмарних мас, вертикальні розміри яких порівнянні з горизонтальними і ці хмари опадів не дають. Виникають переважно влітку вдень на висоті 500–1000 м і розвиваються до висоти 2–3 км.

Шарувато-купчасті - хмари у вигляді сірих чи білих пасм, валів, між якими просвічує небо. Висота хмар від 50 до 1000 м, вертикальна потужність невелика. Утворюються при порушенні шаруватих хмар, чи при злитті купчастих.

1.5. Алгоритми та пристрої відбору максимальної потужності

У системах, що використовують сонячну енергію, для підвищення ефективності роботи СП вводять імпульсні регулятори (ІР) постійної напруги. ІР постійно визначає миттєву потужність шляхом безперервного вимірювання напруги і струму і використовує цю інформацію для зміни робочої точки перетворювача. Таким чином, регулюється рівень зарядного струму демпферуючої системи і досягається максимальна вихідна потужність, незалежно від умов роботи перетворювача (потужності навантаження, рівня освітленості, температури).

Для відбирання максимальної потужності від джерела живлення таких, як СЕС необхідне виконання умови

$$R_H^* = r_{вих}^*,$$

Якщо $R_H^* \neq r_{вих}^*$, для забезпечення передачі в навантаження максимально можливої потужності використовують пристрої узгодження навантаження з СЕС. У ланцюгах змінного струму такі пристрої найчастіше будують на основі трансформатора. При використанні джерел постійної напруги для узгодження навантаження з джерелом часто ІР постійної напруги (рис. 1.11).

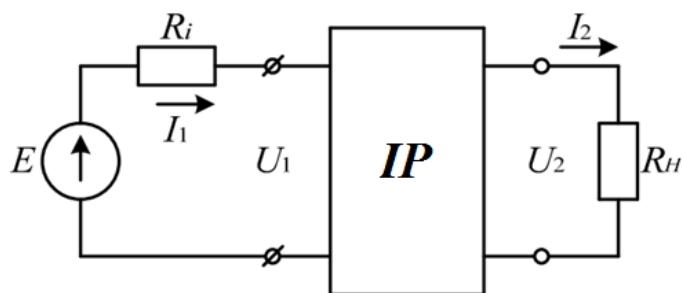
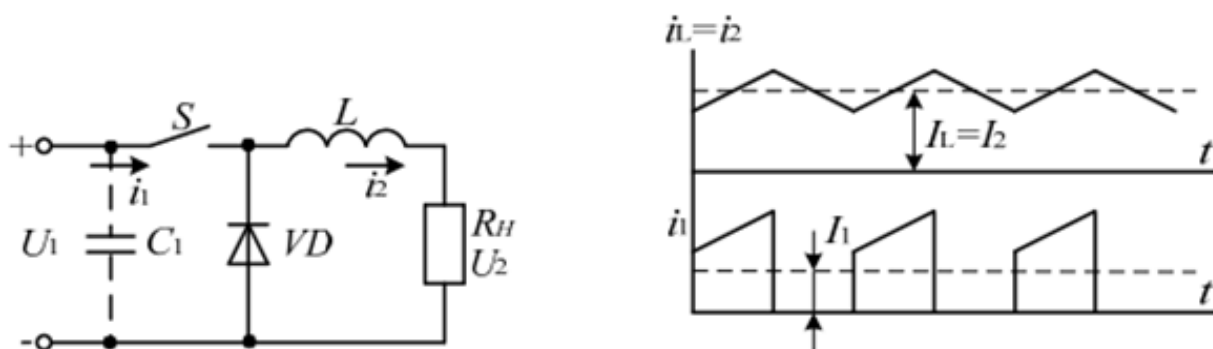
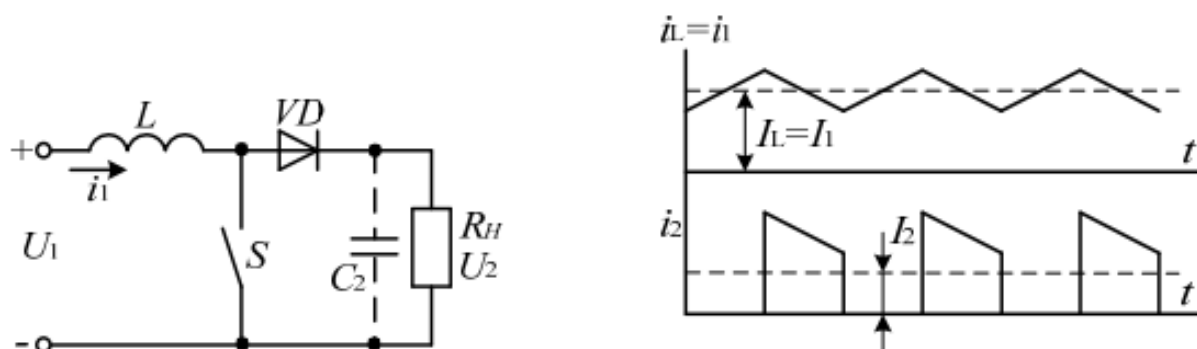


Рис. 1.11

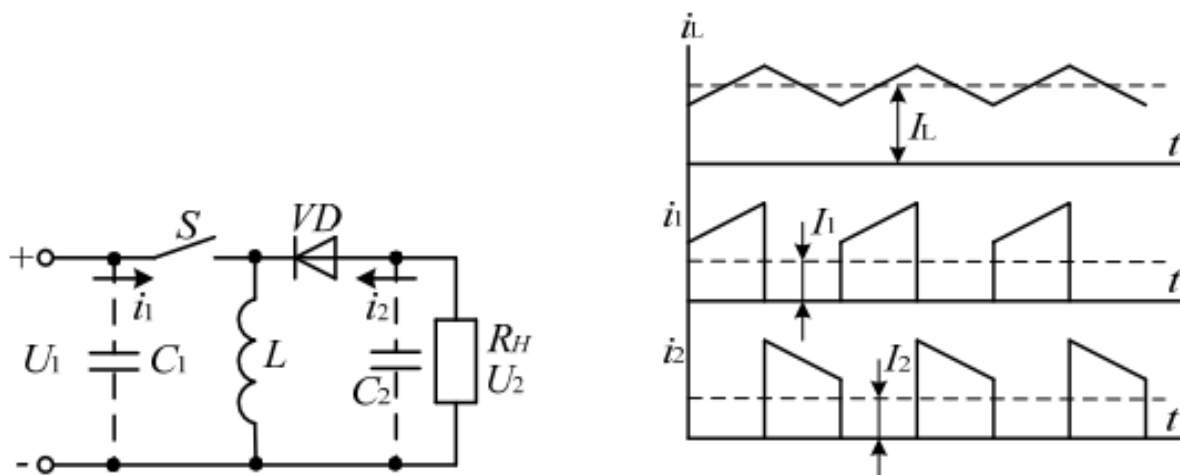
На рис. 1.12 представлені схеми трьох основних типів ІР, а також часові діаграми струму індуктивності i_L , вхідного i_1 і вихідного i_2 струмів для цих схем [19]. Пунктиром показані середні значення зазначених струмів. Проаналізуємо особливості використання трьох типів ІР: 1) понижуючого ІР-1 (рис. 1.12а); 2) підвищуючого ІР-2 (рис. 1.12б); 3) інвертуючого ІР-3 (рис. 1.12в), як пристроїв узгодження джерела енергії E з навантаженням R_H .



а)



б)



в)

Рис. 1.12

Нехай є джерело напруги E з лінійним внутрішнім опором R_i від якого в навантаження R_H необхідно передати максимально можливу потужність. Вихідна характеристика джерела, а також графік зміни потужності в навантаженні $P_H = U_H I_H$ представлені на рис. 1.12

Якщо між джерелом напруги E і навантаженням R_H включений ІР, його вхідний струм i_1 і напруга u_1 будуть струмом і напругою навантаження для джерела $u_H = u_1$, $i_H = i_1$ (рис. 1.11). Якби вхідний струм ІР був постійним і дорівнював $I_H = I_1$, вихідна потужність джерела E була б постійною і дорівнювала максимально можливого значення $I_{МП}$ (рис. 1.13 - суцільна лінія).

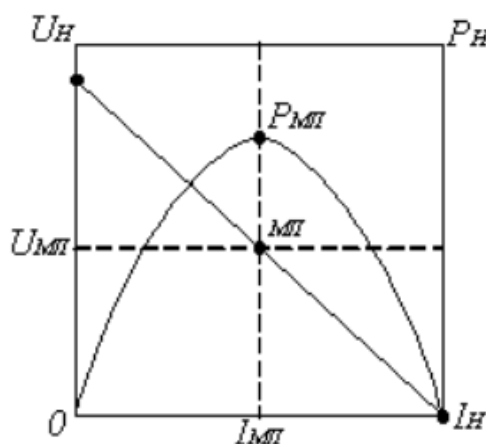


Рис. 1.13.

Однак вхідний струм ІР пульсуючий. Величина пульсації буде залежати від схеми регулятора, параметрів його елементів, опору навантаження R_H , коефіцієнта заповнення імпульсів γ і інших чинників.

За рахунок пульсації струму i_I буде відбуватися зсув робочої точки щодо $P_{МП}$. При цьому миттєва потужність буде змінюватися, внаслідок чого енергія, що передається в навантаження буде менше, ніж максимально можлива. На рис. 1.14, вхідний струм ІР i_I , а також графік зміни потужності, яка відбирається від джерела, показані пунктирною лінією.

Очевидно, що енергія, що відбирається від джерела, буде менше максимально можливої $W_M = P_{МП} \cdot t$ на величину площі заштрихованих ділянок. Графіки, представлені на рис.6, відповідають що підвищує ІР-2 вхідний струм котрого i_I є безперервним. Для ІР-1 і ІР-3 вхідний струм i_I , який є імпульсним (рис. 1.12), кількість недоотриманої енергії істотно зростає. Залежно від коефіцієнта заповнення імпульсів γ кількість недоотриманої енергії може становити 50% і більше. Таким чином, з точки зору відбору максимальної енергії від джерела E найбільш ефективним є ІР-2, що працює в режимі безперервного струму індуктивності L і з невеликою вібрацією.

Для підвищення ефективності використання схем ІР-1 і ІР-3 на їх вході необхідно включати ємність C_I (рис. 1.12), яка виконує функцію проміжного накопичувача енергії, споживаної від джерела E , і забезпечує безперервний струм з невеликою вібрацією. Проаналізуємо особливості трьох типів ІР як пристроїв узгодження джерела електричної енергії з навантаженням.

У разі відсутності втрат енергії в ІР повинна виконуватися умова

$$U_1 I_1 = U_2 I_2, \quad (1.1)$$

де $U_1 I_1$ - середнє значення вхідної напруги та струму, $U_2 I_2$ - середнє значення вихідної напруги та струму.

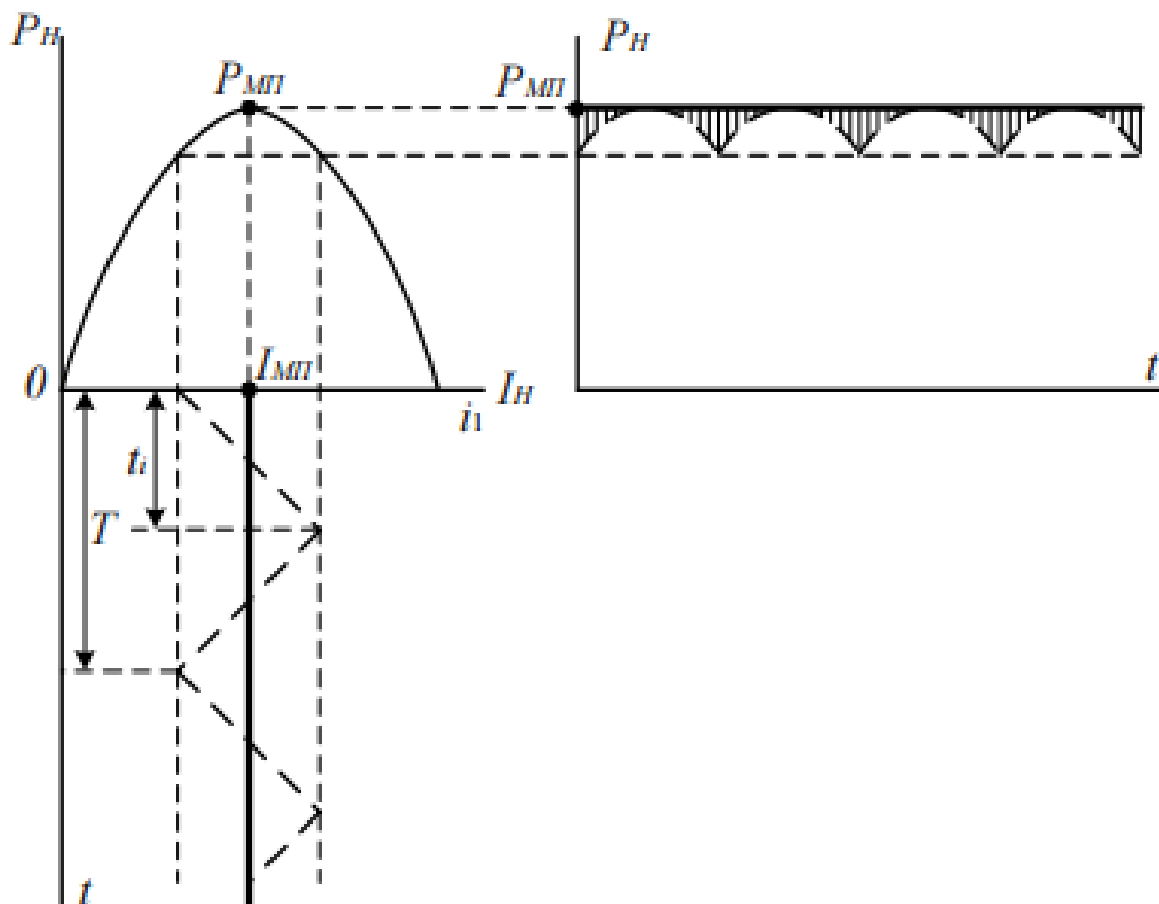


Рис. 1.14

Для понижуючого регулятора IP-1 $U_2 = \gamma U_1$; $I_2 = I_1 / \gamma$, де $\gamma = t_i / T$ – коефіцієнт заповнення імпульсів; t_i – тривалість замкнутого стану ключа; T – період роботи ключа. Для забезпечення відбору максимальної потужності від джерела необхідно, щоб вхідний опір IP R_{BX} дорівнювало внутрішньому опору джерела R_i

$$R_i = R_{BX} = \frac{U_1}{I_1} = \frac{U_2}{I_2} \cdot \frac{1}{\gamma^2} = \frac{R_H}{\gamma^2}.$$

Таким чином, узгоджений режим може бути забезпечений шляхом зміни коефіцієнта заповнення імпульсів регулятора γ відповідно до

$$\gamma = \sqrt{R_H / R_i}.$$

Враховуючи що $\gamma=(0...1)$ робимо висновок, що IP-1 може забезпечити узгоджений режим джерела якщо

$$R_H \leq R_i.$$

Для підвищуючого IP-2 $U_2 = \frac{1}{1-\gamma} U_1$; $I_2 = (1-\gamma) I_1$. Для узгодження режиму повинна виконуватися умова

$$R_i = R_{BX} = \frac{U_1}{I_1} = \frac{U_2}{I_2} \cdot (1-\gamma)^2 = (1-\gamma)^2 R_H.$$

Звідки

$$\gamma = 1 - \frac{1}{\sqrt{R_H/R_i}}. \quad (1.2)$$

Отже, IP-2 може забезпечити узгоджений режим роботи джерела, якщо

$$R_H \geq R_i.$$

Для інвертуючого IP-3 $U_2 = \frac{\gamma}{1-\gamma} U_1$; $I_2 = \frac{1-\gamma}{\gamma} I_1$. Умова узгодженого режиму

$$R_i = R_{BX} = \frac{U_1}{I_1} = \frac{U_2}{I_2} \cdot \frac{(1-\gamma)^2}{\gamma^2} = \frac{(1-\gamma)^2}{\gamma^2} R_H.$$

Звідки

$$\gamma = \frac{\sqrt{R_H/R_i}}{1 + \sqrt{R_H/R_i}}. \quad (1.3)$$

Таким чином, теоретично IP-3 може забезпечити узгоджений режим роботи джерела при

$$R_i \leq R_H \leq R_i.$$

Однак, на відміну від IP-1, для регуляторів IP-2 та IP-3 умова (1.1) може бути виконано при $\gamma=(0...0.6)$ [19]. При $\gamma>0.6$ амплітудне, а отже і діюче значення струму індуктивності i_L сильно зростає, що призводить до суттєвого

зростання втрат в елементах регулятора (дроселі і ключах). Тому при $\gamma > 0.6$ формули (1.2) і (1.3) будуть мати похибку.

Режим відбору максимальної енергії від джерела пов'язаний зі зменшенням коефіцієнта використання його електричної енергії $\eta = P_H / P_i$, де P_H - потужність, що передається в навантаження; P_i - потужність, яку при цьому розвиває джерело енергії. Так, при лінійному внутрішньому опорі джерела $\eta = 0.5$, а при нелінійному може бути як більше, так і менше 0,5 [20]. Тому, такий режим найчастіше використовується для поновлюваних джерел, в нашому випадку для СП, отримання електричної енергії в якій не пов'язано з витратою палива. Особливістю подібного джерела є істотна залежність її вихідної потужності від умов навколишнього середовища, які змінюються в часі. У зв'язку з цим, для більш рівномірного надходження електричної енергії в навантаження, на її вході ставлять проміжний накопичувач електричної енергії, роль якого найчастіше виконує акумулятор. При цьому забезпечення режиму передачі максимальної енергії в навантаження має ряд особливостей. Зокрема, на відміну від прямої передачі електричної енергії в навантаження R_H , в даному випадку присутні процеси накопичення енергії в акумуляторі і передачі накопиченої енергії в навантаження, при яких відбуваються додаткові втрати енергії на внутрішньому опорі акумулятора r_i . При роботі джерела в режимі відбору максимальної енергії бажано, щоб ці додаткові втрати були мінімальними. Проаналізуємо, від чого залежать ці втрати.

Очевидно, що максимальними ці втрати будуть при роботі акумулятора в режимі заряд - розряд, при якому енергія на внутрішньому опорі акумулятора втрачається як при заряді, так і розряді. При роботі акумулятора в буферному режимі додаткові втрати енергії будуть менше, оскільки частина отриманої енергії безпосередньо передається в навантаження R_H . Оцінимо додаткові втрати енергії для найгіршого випадку, коли зовнішнє навантаження R_H відключена, а енергія джерела E використовується тільки для зарядки акумулятора E_a (рис. 1.15).

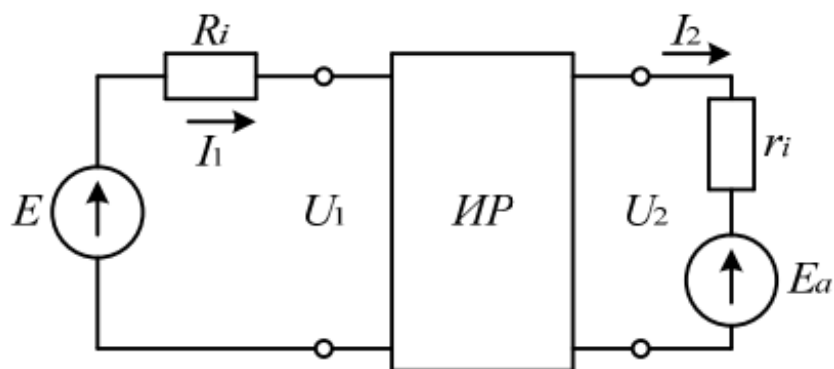


Рис. 1.15

При цьому будемо вважати, що джерело E працює в режимі віддачі максимальної енергії, тобто $U_1 = U_{BX}$; $I_1 = I_{BX}$.

Якби акумулятор був ідеальним ($r_i = 0$), додаткові втрати в ньому б були відсутні. Для забезпечення режиму передачі максимальної енергії в акумулятор його ЕРС E_a повинна дорівнювати U_{BX} . Якщо ж ЕРС акумулятора $E_a \neq U_{BX}$, його підключення до джерела E здійснюється через відповідний тип ІР. Так, якщо $E_a < U_{BX}$, використовують понижуючий ІР-1. Якщо $E_a > U_{BX}$, використовують підвищувальний ІР-2. Інвертуючий ІР-3 може бути використаний в обох попередніх випадках.

Реальні акумулятори мають внутрішній опір $r_i \neq 0$, на якому при заряді втрачається частина енергії. Процес заряджання акумулятора характеризується відповідним коефіцієнтом використання електричної енергії

$$\eta_3 = \frac{E_a I_2}{U_2 I_2} = \frac{E_a}{U_2}.$$

Для ідеального акумулятора $E_a = U_2$, тому $\eta_3 = 1$. У реальному акумуляторі $U_2 = E_a + I_2 r_i$. Тому

$$\eta_3 = \frac{E_a}{E_a + I_2 r_i} = \frac{E_a}{E_a} \frac{1}{1 + \frac{I_2 r_i}{E_a}} = \frac{1}{1 + \frac{I_2}{I_{K.3}}}, \quad (1.4)$$

де $I_{к.з.} = \frac{E_a}{r_i}$ - струм короткого замикання акумулятора. Напруга акумулятора E_a можна змінити шляхом послідовного з'єднання n елементів. Але, при цьому, послідовно з'єднуються і їх внутрішні опору. При цьому струм короткого замикання $I_{к.з.} = nE_a / nr_i = E_a / r_i$ є параметром акумулятора, який не залежить від кількості елементів в батареї.

Якщо акумулятор заряджають імпульсним струмом, причому амплітуда імпульсів $I_m \approx const$, передача енергії в акумулятор, а отже і втрати енергії на r_i відбуваються тільки під час дії імпульсів струму. Тому коефіцієнт використання електричної енергії при зарядці також буде визначатися формулою (1.4), в якій $I_2 = I_m$. Якщо ж при імпульсному вихідному струмі ІР на його виході поставити згладжує конденсатор C_2 (рис. 1.12), зарядка акумулятора буде здійснюється постійним струмом, який чисельно дорівнює середньому значенню вихідного струму регулятора I_2 .

У табл. 1.5 наведені формули для визначення струмів I_m і I_2 для трьох основних типів ІР в режимі відбору максимальної енергії від джерела $I_1 = I_{BX}$.

Аналіз табл. 1.5 показує, що не дивлячись на те, що в ІР-1 зарядка акумулятора здійснюється безперервним плавним струмом, величина цього струму, в порівнянні з іншими типами регуляторів буде найбільшою. Тому η_3 буде тим менше, чим менше ЕРС акумулятора E_a (коефіцієнт γ). Максимальним η_3 буде при використанні ІР-2. При заряді акумулятора імпульсним струмом η_3 не залежить від γ (ЕРС акумулятора E_a). При зарядці акумулятора згладженим струмом η_3 приймає найбільше значення, причому тим більше, чим більше γ (ЕРС акумулятора E_a).

Таблиця 1.5

№	Тип ІР	Струм заряду акумулятора I_a
---	--------	--------------------------------

		Імпульсний $I_a = I_m$	Згладжений $I_a = I_2$
1	ІР-1	I_{BX}/γ	I_{BX}/γ
2	ІР-2	I_{BX}	$(1-\gamma)I_{BX}$
3	ІР-3	I_{BX}/γ	$(1-\gamma/\gamma)I_{BX}$

Регулятор ІР-3 при заряджанні акумулятора імпульсним струмом має такий же η_3 , як і ІР-1. При заряді згладженим струмом η_3 більше, ніж в ІР-1, але менше, ніж в ІР-2.

Для роботи імпульсного регулятора необхідно задати алгоритм пошуку точки максимальної потужності, і як правило, використовується один з відомих алгоритмів. У деяких пристроях для відстеження точки максимальної потужності реалізують різні алгоритми і перемикання між ними здійснюються в залежності від умов роботи. Основними засобами алгоритмізації МРРТ є: метод збудження та спостереження (рис. 1.15), методи зростаючої провідності (рис. 1.16) і постійної напруги [21].

При використанні методу збудження і спостереження пристрій на невелику величину змінює еквівалентний вхідний опір перетворювача (шляхом варіювання прогальністю силового ключа або зміни задання вхідних величин напруги, струму або потужності), внаслідок чого варіюється напруга на СП і далі проводиться вимірювання її вихідних параметрів.

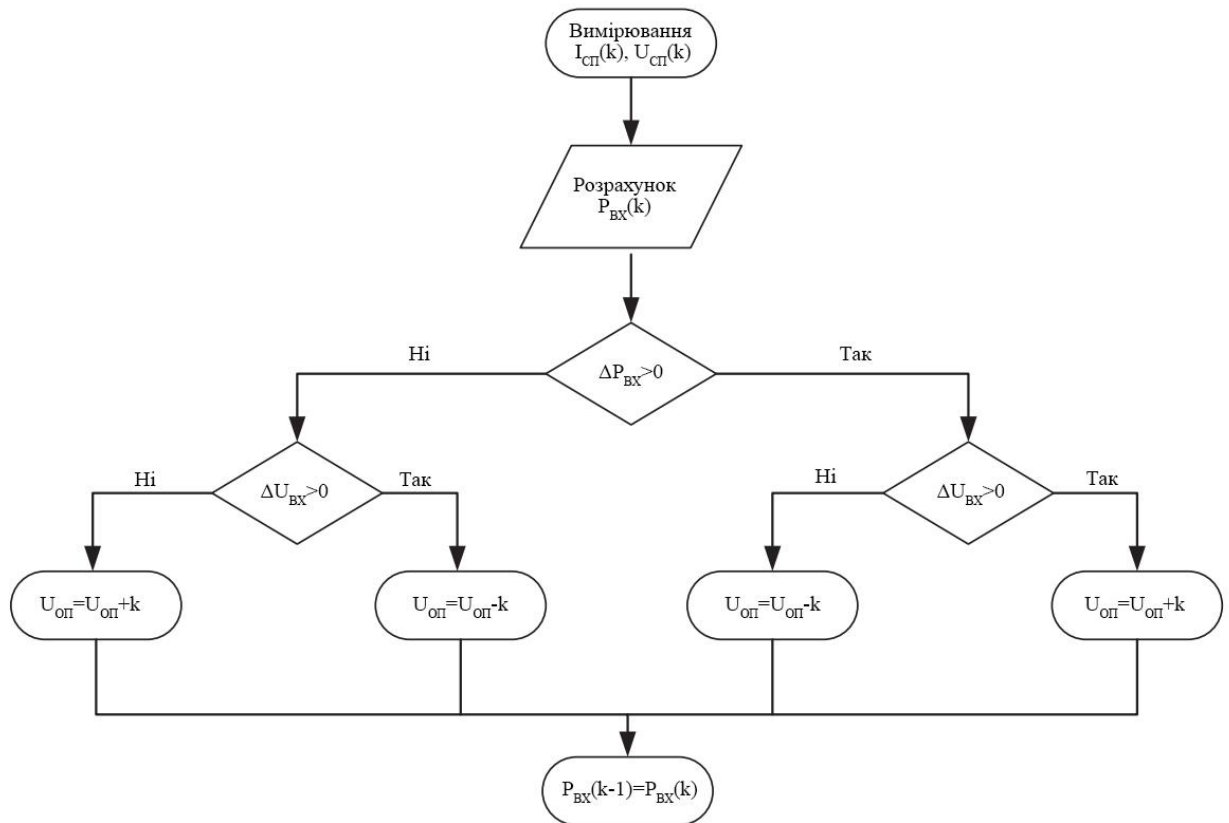


Рис. 1.15. Блок-схема алгоритму відстеження точки максимальної потужності методом збудження і спостереження

Якщо потужність збільшується - контролер продовжує змінювати змінюючий параметр в цьому ж напрямку, поки потужність не перестане зростати. Даний метод є найбільш поширеним, незважаючи на те що він призводить до коливань потужності. Широке застосування цього методу обумовлено його простотою і може бути реалізовано на основі функціональної схеми системи управління підвищуючого перетворювача напруги.

У методі зростаючої провідності перетворювач фіксує збільшення струму і напруги СП, щоб передбачити ефект від зміни напруги. Він вимагає збільшення обчислень мікроконтролером, але при цьому відстежує зміну навколишніх умов з більшою швидкістю, ніж попередній метод. Однак цей спосіб так само призводить до коливань потужності. Розглянутий метод використовує зростаючу провідність dI / dU СП для обчислення знаку зміни потужності по відношенню до напруги dP / dU .

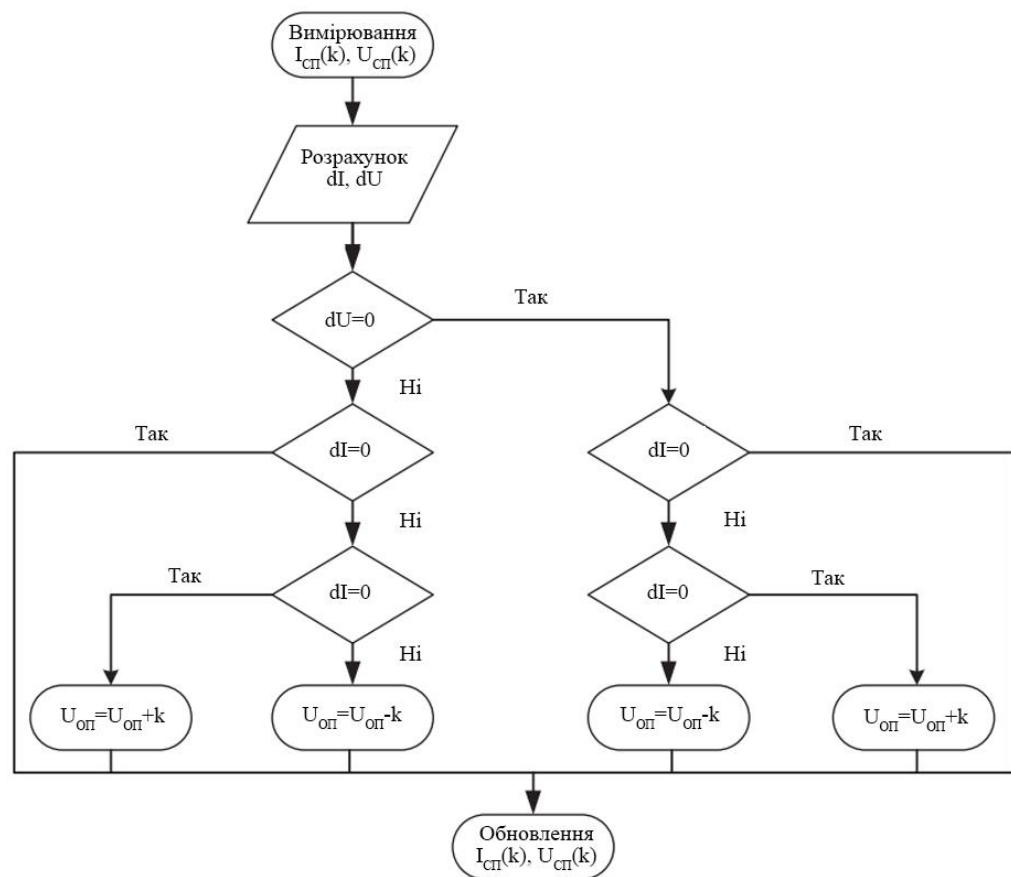


Рис. 1.16. Блок-схема алгоритму відстеження точки максимальної потужності методом зростаючої провідності

При цьому обчислюється точка максимальної потужності і проводиться порівняння зростаючої провідності $\Delta I / \Delta U$ з провідністю СП (I / U). При виконанні умови $\Delta I / \Delta U = I / U$ вихідна напруга дорівнює напрузі, що відповідає найбільшому значенню потужності. Уставка ПІ-регулятора по напрузі підтримується поки не зміниться рівень освітленості, далі процес повторюється.

Висновки до першого розділу

Проведений аналіз сучасних методів побудови сонячних електростанцій показав необхідність дослідження впливу хмарного покриву на вихідну напругу та умови відбору максимальної потужності від сонячних електростанцій.

Для перевірки теоретичних викладок необхідно промодельовати роботу сонячної електростанції з врахуванням ефекту руху хмар при різних векторах інтенсивності сонячного випромінювання.

2. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ

2.1. Розрахунок параметрів моделі фотоелемента

В якості СП було обрано модель SEM 70 фірми S.E. PROJECT розмірністю у $n=4$ — паралельних рядів та $m=9$ — послідовно з'єднаних ФЕ з наступними параметрами при максимальній освітленості 1000 В/м^2 :

$$P_{\text{макс.}}=70 \text{ Вт};$$

$$U_{\text{М.П.}}=16,8 \text{ В};$$

$$U_{\text{х.х.}}=20,9 \text{ В};$$

$$I_{\text{М.П.}}=4,16 \text{ А};$$

$$I_{\text{к.з.}}=4,7 \text{ А};$$

$$U_H=12 \text{ В};$$

Принципова схема ФЕ представлена на рис.2.1. ФЕ можуть працювати в одному з трьох варіантів: варіант з 8 параметрами для дводіодної моделі або у двох з 5 – параметрами для одnodіодної моделі невраховуючі навантаження (вар.1) та з врахуванням навантаження (вар.2) [22]. Модель ФЕ розроблюється за допомогою кількох методів, що відрізняються підходом до властивостей р-п-переходу, матеріалу, що використовується, способу з'єднання ФЕ з периферійними системами тощо.

На рис. 2.1 позначено:

- R1 - R3 – резистори для імітування зміни внутрішнього опору при проходженні вектору проекції хмарного покритву;
- VD4 – рекуперуючий діод;
- SC1 – фотоелемент;
- S1, S2, S3 – ключі для підключення резисторів R1, R2, R3;

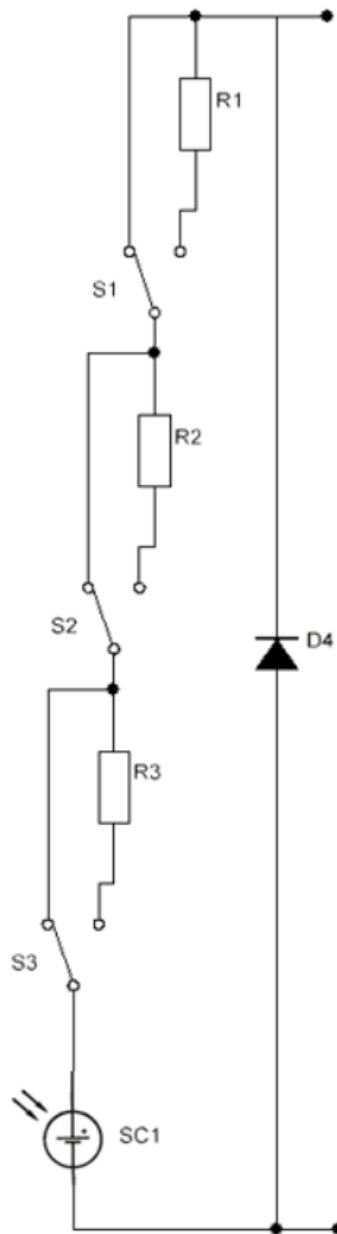


Рис. 2.1. Принципова схема фотоелемента

На рис. 2.2 та рис. 2.3 представлені еквівалентні схеми заміщення моделі ФЕ. Видно, що схеми заміщення мають загальну частину, представлену у вигляді джерела фотоструму (I_{ph}) і паралельно включеного діода (D1), який моделює р-n-перехід. У випадку однодіодної моделі вихідний струм одного елемента I визначається за такою формулою:

$$I = I_{ph} - I_{s1} \cdot \left[e^{\frac{(U + IR_s)}{N_1 \frac{kT}{q}}} - 1 \right],$$

де I_{ph} — генерований фотострум,

$$I_{ph} = I_{ph0} \cdot \frac{G_r}{G_{r0}},$$

де I_{ph0} — фотострум, згенерований інтенсивністю сонячного випромінювання G_{r0} (найчастіше 1000 Вт / м²) [А]; G_r — фактична інтенсивність сонячного випромінювання, що потрапляє на поверхню сонячного елемента [Вт / м²]; I_{s1} — струм насичення діодів [А]; k — константа Больцмана; T — температура ФЕ [°С]; q — елементарний заряд електрона; N_1 — коефіцієнт якості діода $N_1 = \{1 \div 2\}$; U — напруга ФЕ [В]; R_s — послідовний опір [Ω].

На рис. 2.2 представлена електрична схема моделі однодіодного ФЕ, розробленої в середовищі моделювання SIMULNIK.

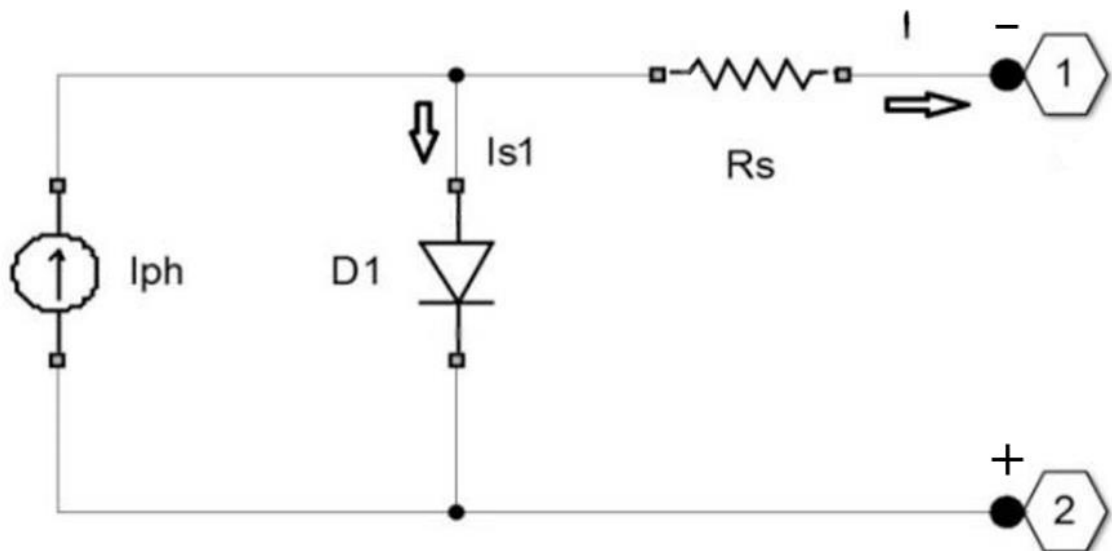


Рис. 2.2. Модель однодіодного ФЕ

Значення діодного струму насичення (I_{s1}) визначається струмом р-п переходу за умови, що інтенсивність сонячного випромінювання відсутня (G_r

$= 0$). Послідовний опір (R_s) моделює опір металевих контактів та переходу метал-напівпровідник. Паралельний опір (R_p) моделює струми витоку між електродною сіткою з обох боків з'єднання. Його величина залежить від можливих недоліків структури р і n площі напівпровідника, механічної прохідності, подряпин та забруднень. У описаній моделі (діаграма на рис. 2) передбачається, що паралельний опір (шунтовий опір) $R_p = \infty$. Більш точною моделлю ФЕ є дводіодна модель, де струм насичення складається з двох складових: дифузійної та рекомбінаційної. Тому схема має два паралельно включених діода (D1 та D2), які відображають протікання через р-н перехід дифузійного і рекомбінаційного струмів. Обидві складові враховуються при різних випадках, а вихідний струм для моделі, визначається наступним співвідношенням:

$$I = I_{ph} - I_{s1} \cdot \left[e^{\frac{(U + IR_s)}{N_1 \frac{kT}{q}}} - 1 \right] - I_{s2} \cdot \left[e^{\frac{(U + IR_s)}{N_2 \frac{kT}{q}}} - 1 \right] - \frac{(U + IR_s)}{R_p},$$

де I_{s2} - струм насичення другого діода [А]; N_1, N_2 - коефіцієнти якості для першого та другого діодів відповідно ($N_1 = 1, N_2 = 2$); R_p - паралельний опору [Ω].

На рис. 2.3 представлена електрична схема моделі дводіодного ФЕ, розробленої в середовищі моделювання SIMULNIK.

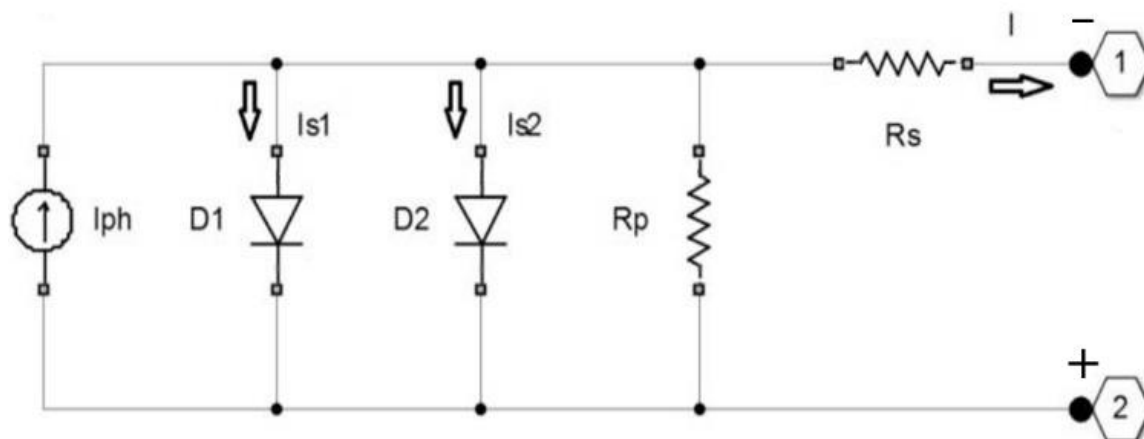


Рис. 2.3. Модель дводіодного ФЕ

Важливим недоліком даної моделі є складність визначення параметрів виразу для ВАХ ФЕ, тому для розробки моделі СП, приймаємо схему, зображену на рис. 2.1. У табл. 2.1 наведено детальне визначення параметрів моделей ФЕ [23].

Таблиця 2.1.

№	Параметр	Модель		
		5-парам. (вар.1)	5-парам. (вар.2)	8-парам.
1	Струм короткого замикання I_{SC} [A]	+	-	-
2	Струм насичення діода $D_1 I_{s1}$ [A]	-	+	+
3	Струм насичення діода $D_2 I_{s2}$ [A]	-	-	+
4	Згенерований фотострум I_{ph0} [A]	-	+	+
5	Напруга короткого замикання сонячного елемента U_{OC} [B]	+	-	-
6	Опорне освітлення I_{r0} [Вт/м ²]	+	+	+
7	Коефіцієнт якості діода $D_1 N_1$ [-]	+	+	+
8	Коефіцієнт якості діода $D_2 N_2$ [-]	-	-	+
9	Послідовний опір R_s [Ω]	+	+	+
10	Паралельний опір R_p [Ω]	-	-	+

де, I_{SC} – струм короткого замикання ФЕ; I_{s1} - асимптотичний зворотний струм першого діода для збільшення зворотного зміщення при відсутності будь-якого падаючого світла; I_{s2} - асимптотичний зворотний струм другого діода для збільшення зворотного зміщення при відсутності падаючого світла; I_{r0} – опорне освітлення, при якому виникає струм I_{ph0} у ФЕ; I_{ph0} - струм, викликаний інтенсивністю сонячного випромінювання I_{r0} ; U_{OC} - напруга на ФЕ, коли він не підключений до навантаження; N_1 - коефіцієнт викидів першого діода; N_2 - коефіцієнт викидів другого діода;

У 5-параметрових моделях були прийняті наступні припущення: струм насичення другого діода дорівнює нулю ($I_{s1} = 0$), а паралельний опір дорівнює нескінченності ($R_p = \infty$). Крім того, 5-параметровий варіант дозволяє не

враховувати набір параметрів відносно струму короткого замикання I_{SC} та напруги U_{OC} замкнутої схеми (вар. 1) або струму насичення діода I_{s1} (вар. 2).

У випадку 8-параметрової моделі, струм короткого замикання I_{SC} та напруги U_{OC} замкнутої схеми враховуються струмами насичення I_{s1} і I_{s2} . Для цих версій доступна конфігурація набору параметрів, що пов'язана зі змінами значення струму, створеного ФЕ I_{ph} , струмами насичення I_{s1} та I_{s2} , а також послідовним опором R_s та паралельним опором R_p як і функцією температури T .

При виборі 5-параметрової моделі (вар.1) розрахуємо напругу та струм для SC1 при умові короткого замикання та холостого ходу:

$$I_{\hat{O}\hat{A}} = \frac{I_{\hat{E}\cdot\hat{C}}}{n} = \frac{4,7}{4} = 1.175\hat{A}; \quad U_{\hat{O}\hat{A}} = \frac{U_{X.X.}}{m} = \frac{20.9}{9} = 2.32\hat{A}.$$

Для резисторів імітування зміни внутрішнього опору розрахуємо еквівалентний опір ФЕ:

$$R_{\Phi E} = \frac{U_{\Phi E}}{I_{\Phi E}} = \frac{2.32}{1.175} = 1.97 \text{ Ом}$$

$$R1 = 0.5R_{\Phi E} = 0.5 \cdot 1.97 \approx 1 \text{ Ом}$$

$$R2 = 0.25R_{\Phi E} = 0.33 \cdot 1.97 \approx 0.75 \text{ Ом}$$

$$R3 = 0.17R_{\Phi E} = 0.125 \cdot 1.97 \approx 0.25 \text{ Ом}$$

2.2. Розрахунок параметрів сонячної панелі

Запропонована наступна принципова схема СП, яка представлена на рис. 2.5 [24]. Для відбирання максимальної енергії запропоновано відбирання з кожної стійки (1-4), що складається з 16 фотоелементів, з'єднаних комбіновано по 4 ФЕ у рядку та 4 ФЕ у стійці.

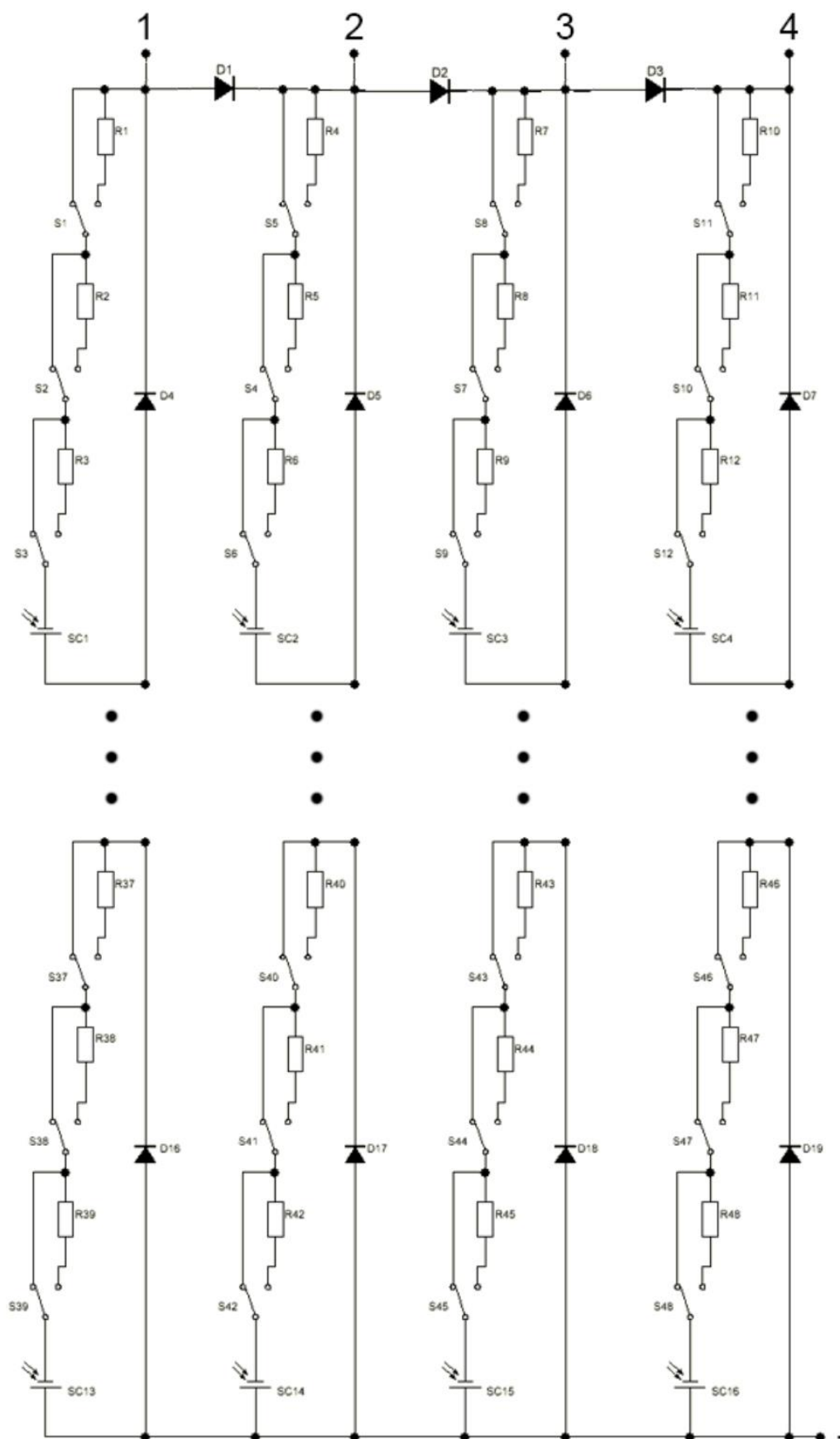


Рис. 2.5. Принципова схема сонячної панелі

Модель містить наступні елементи:

- SC1-SC16 – фотоелементи;
- R1 – R48 – резистори для імітування зміни внутрішнього опору при проходженні вектору проекції хмарного покриття;
- VD1-VD3 – діоди блокування зворотних струмів;
- VD4-VD19 – рекуперуючі діоди;
- «1-4» – виходи стійок СП;
- «-» – вихід на заземлення.

При послідовному з'єднанні ФЕ напруга зростає, а струм залишається незмінним, тож максимальна напруга та струм визначається як:

$$U_{СП\max} = 4U_{ФЕ} = 4 \cdot 2.32 = 9.28B$$

$$I_{СП\max} = I_{ФЕ} = 1.175A$$

Максимальна потужність, яку може видати одна стійка визначається як:

$$P_{СП\max} = U_{СП\max} \cdot I_{СП\max} = 4 \cdot 2.32 \cdot 1.175 \approx 10Wm$$

2.3. Розрахунок підвищуючого широтно-імпульсного перетворювача

Схема моделі підвищуючого широтно-імпульсного перетворювача СП наведена на рис. 2.6.

Розрахунок індуктивності фільтру при підвищуючому перетворювачі відбувається за наступною формулою:

$$L = (U_{ВНХ} - U_{ВХ\max}) \cdot \frac{U_{ВХ\max}}{U_{ВНХ}} \cdot \frac{1}{f} \cdot \frac{1}{k_i I_{ВНХ\max}},$$

де $U_{ВХ\max}$ - максимальна вхідна напруга, $U_{ВНХ}$ - вихідна напруга, f - частота комутації ключа, k_i - коефіцієнт пульсації (у роботі заданий значенням 50%),

$I_{ВНХ\max}$ - максимальний вихідний струм.

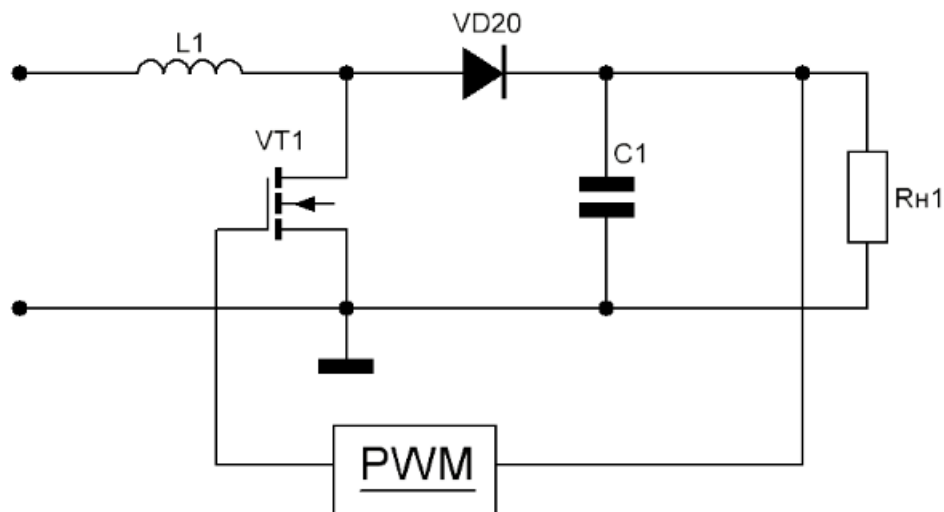


Рис. 2.6. Принципова схема підвищуючого широтно-імпульсного перетворювача сонячної панелі

Розрахуємо індуктивність $L1$:

$$L1 = (10 - 9.28) \cdot \frac{9.28}{10} \cdot \frac{1}{1000} \cdot \frac{1}{0.5 \cdot 1.175} = 0.0011 \text{ Гн} = 1.1 \text{ мГн}$$

Розрахунок ємності фільтру при понижуючому перетворювачі відбувається за наступною формулою:

$$C = \frac{I_{BIX \min} (1 - \Delta I_L)}{f \Delta U},$$

де ΔU - максимально допустима амплітуда викидів вихідної напруги (у роботі заданий значенням 100 мВ), ΔI_L - струм на індуктивності L дорівнює $\Delta I_L = k_i I_{BIX \max} = 0.5 \cdot 1.175 = 0.5875 \text{ А}$, $I_{BIX \min}$ - мінімальний вихідний струм, що дорівнює 0.18 А.

Розрахуємо ємність $C5$:

$$C5 = \frac{0.18(1 - 0.5875)}{1000 \cdot 0.1} = 0.000742 \text{ Ф} = 742 \text{ мкФ}$$

Задаючись визначенням параметрами підвищуючого широтно-імпульсного перетворювача, максимальна напруга на виході СП збільшується до 10 В при максимальній інтенсивності сонячного випромінювання 1000 Вт/м².

2.4. Розрахунок понижуючий широтно-імпульсного перетворювача

Для підтримання рівня напруги на навантаженні при зміні освітленості в СЕС використовують акумуляторні батареї (АКБ) [25]. Щоб підключити АКБ до навантаження використовується понижуючий перетворювач для забезпечення постійної вихідної напруги.

Схема моделі понижуючого широтно-імпульсного перетворювача СП наведена на рис. 2.7.

Модель містить наступні елементи:

- DC1 – АКБ напругою 15 В;
- VT5 – ключ на основі МОП-транзистора;
- $L5=1$, $C5$ – індуктивність та ємність фільтра;
- $R_{H1}=15$ Ом – активне навантаження;
- VD24 – напівпровідниковий діод;
- PWM – Система керування понижуючого широтно-імпульсного перетворювача зі стабілізацією вихідної напруги з частотою роботи $f = 1\text{кГц}$;

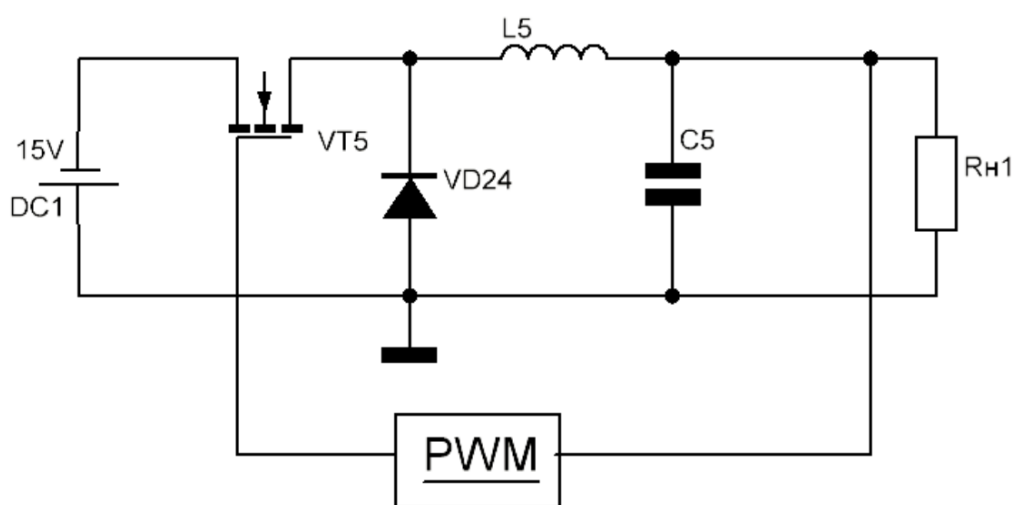


Рис. 2.7. Принципова схема моделі понижуючого широтно-імпульсного перетворювача сонячної панелі

Розрахунок індуктивності фільтру при понижуючому перетворювачі відбувається за наступною формулою:

$$L = (U_{BX \max} - U_{BIX}) \cdot \frac{U_{BIX}}{U_{BX \max}} \cdot \frac{1}{f} \cdot \frac{1}{k_i I_{BIX \max}},$$

де $U_{BX \max}$ - максимальна вхідна напруга, U_{BIX} - вихідна напруга, f - частота комутації ключа, k_i - коефіцієнт пульсації (у роботі заданий значенням 50%), $I_{BIX \max}$ - максимальний вихідний струм.

Розрахуємо індуктивність L5:

$$L5 = (15 - 10) \cdot \frac{10}{15} \cdot \frac{1}{1000} \cdot \frac{1}{0.5 \cdot 1.175} = 0.0057 \text{ Гн} = 5.7 \text{ мГн}.$$

Розрахунок ємності фільтру при понижуючому перетворювачі відбувається за наступною формулою:

$$C = \frac{L}{(\Delta U + U_{BIX})^2 - U_{BIX}^2} (I_{BIX \max} + \frac{\Delta I_L}{2})^2,$$

де ΔU - максимально допустима амплітуда викидів вихідної напруги (у роботі заданий значенням 100 мВ), ΔI_L - струм на індуктивності L дорвнює $\Delta I_L = k_i I_{BIX \max} = 0.5 \cdot 1.175 = 0.5875 \text{ А}.$

Розрахуємо ємність C5:

$$\tilde{C}5 = \frac{0.0057}{(0.1 + 10)^2 - 10^2} (1.175 + \frac{0.5875}{2})^2 = 0.0061 \text{ Ф} = 6.1 \text{ мФ}.$$

Задаючись визначеним параметрами понижуючого широтно-імпульсного перетворювача, напруга на навантаженні підтримується на рівні 10 В при зміні інтенсивності сонячного випромінювання, відаючи таким чином постійну напругу на навантаженні.

Висновки до другого розділу

Для моделювання ФЕ було обрано 5-параметрову модель з врахуванням струму короткого замикання та напруги холостого ходу. Блок СП складається з 16 фотоелементів, з'єднаних комбіновано по 4 ФЕ у рядку та 4 ФЕ у стійці.

Для підвищення напруги з виходу СП використано підвищуючий широтно-імпульсний перетворювач. Для підтримання підвищеного рівня напруги використано модель акумулятора батареї на основі джерела напруги, що підключена до навантаження через понижуючий широтно-імпульсний перетворювач.

Визначені параметри СЕС дозволяють провести моделювання при різних напрямках вектора руху проекції хмарного покриву.

3. МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ У СЕРЕДОВИЩІ MATLAB SIMULINK

3.1. Модель фотоелемента та сонячної панелі

При проектуванні систем з відновлювальним джерелом енергії одним з етапів є розробка імітаційної моделі у програмному середовищі, що дає можливість швидко створювати варіанти своїх структур та властивостей (сучасні комп'ютерні системи, пакети програмного забезпечення, такі як CAD / CAE). Такий метод дозволяє зменшити глобальні витрати на системну реалізацію. Для моделювання роботи СП використано середовище MATLAB, версія R2014a. Наведено наступну схему моделі фотоелемента у середовищі MATLAB Simulink.

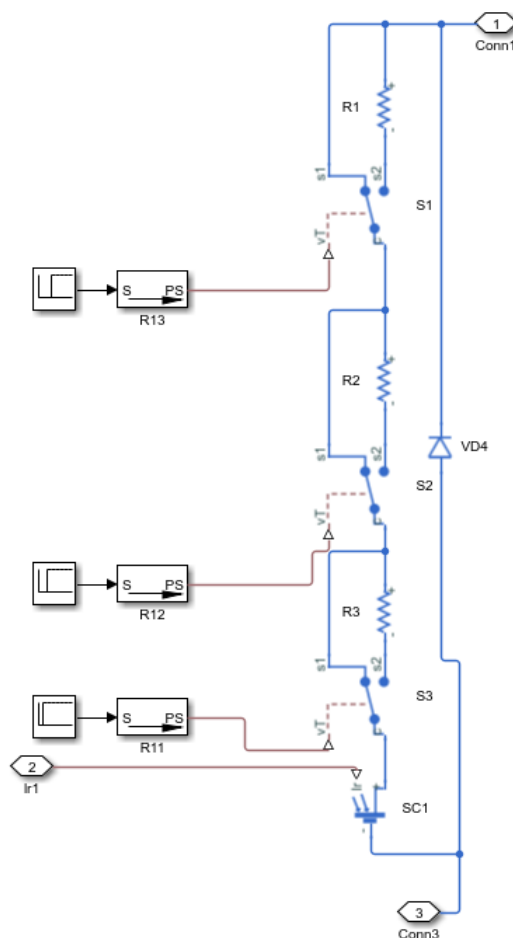


Рис. 3.1. Схема моделі фотоелемента у середовищі MATLAB Simulink

На рис. 3.1 позначено:

- R1, R2, R3 – резистори для імітування зміни внутрішнього опору при проходженні вектору проекції хмарного покриву;
- VD4 – рекуперуючий діод;
- SC1 – фотоелемент;
- Ir1 – сигнал інтенсивності сонячного випромінювання;
- S1, S2, S3 – ключі для підключення резисторів R1, R2, R3;
- R11, R12, R13 – сигнали перемикання S1, S2, S3;
- Conn1, Conn3 – клеми моделі ФЕ.

На рис. 3.2 представлена модель сонячної панелі

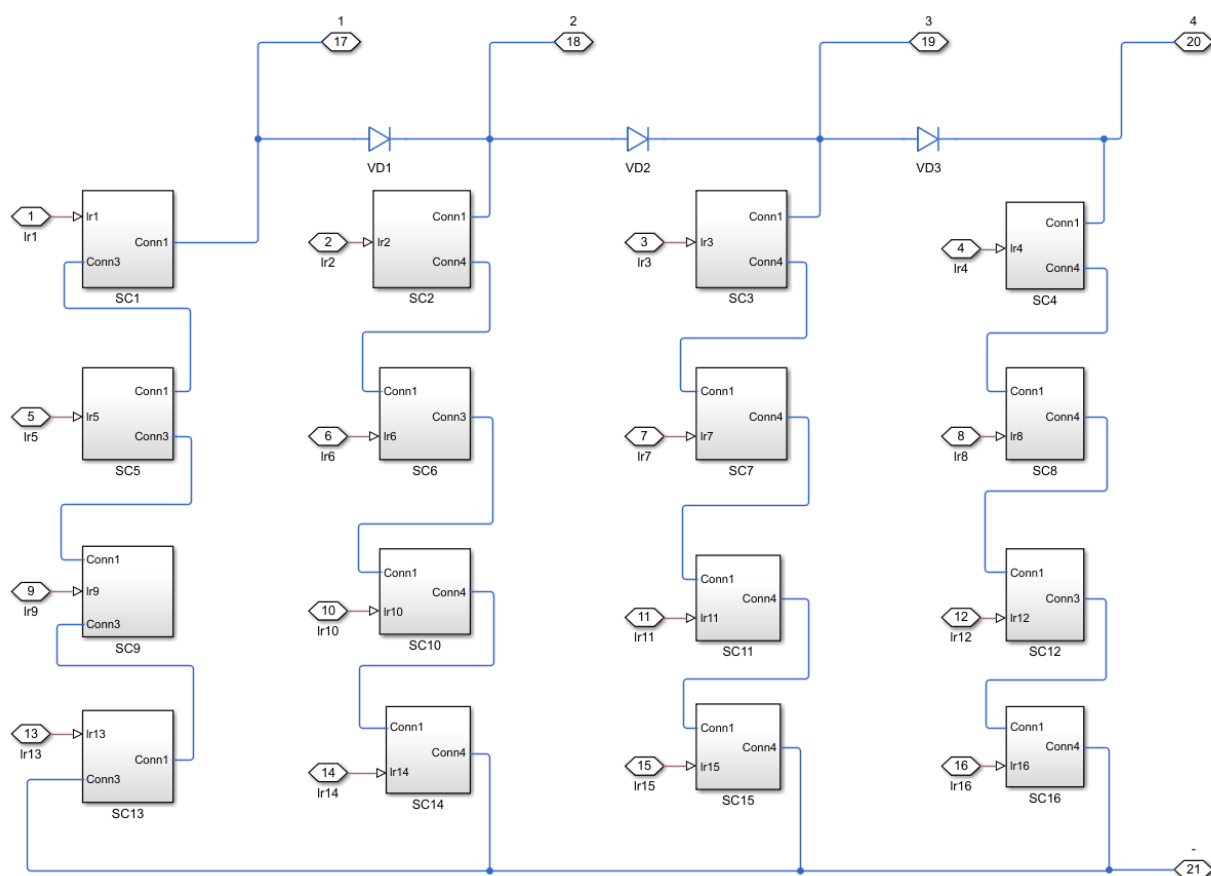


Рис. 3.2. Схема модель сонячної панелі у середовищі MATLAB Simulink

Схема моделі СП містить наступні елементи:

- SC1-SC16 – 16 схем моделі ФЕ;

- Ir1-Ir16 – сигнали інтенсивності сонячного випромінювання;
- VD1-VD3 – діоди блокування зворотних струмів;
- «1-4» – виходи стійок СП;
- «-» – вихід на заземлення.

Для забезпечення підвищення та підтримання напруги 10 В на виході СП у програмному середовищі Simulink було розроблено підвищуючий та понижуючий широтно-імпульсний перетворювач.

3.2. Модель підвищуючого та понижуючого широтно-імпульсного перетворювача

Комп'ютерне дослідження електромагнітних процесів у підвищуючих широтно-імпульсних перетворювачах, що підключені на виході кожної зі стійок СП для забезпечення її роботи у режимі відбору максимальної енергії наведена на рис. 3.3, дозволяє провести моделювання за допомогою програмного пакету Matlab R2014b Simulink, який реалізує імітаційне моделювання лінійних та нелінійних динамічних систем з використанням графічних блоків із заданими параметрами [26].

Схема моделі підвищуючого широтно-імпульсного перетворювача СП наведена на рис. 3.3.

Модель містить наступні елементи:

- VT1 – ключ на основі МОП-транзистора;
- VD20 – напівпровідниковий діод;
- $L1=1.1$ мГн, $C1=742$ мкФ – індуктивність та ємність фільтра;
- $Rn1=15$ Ом – активне навантаження;
- PWM Control system 1 – Система керування підвищуючого широтно-імпульсного перетворювача зі стабілізацією вихідної напруги, схема моделі якої зображена на рис. 3.4;

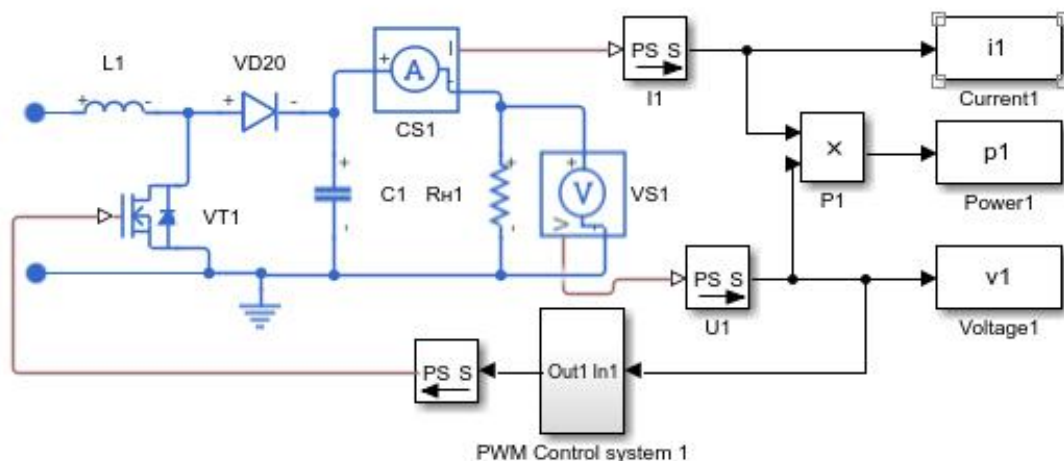


Рис. 3.3. Схема моделі підвищуючого широтно-імпульсного перетворювача сонячної панелі

- вимірювачі миттєвих значень струму (CS1) та напруги (VS1) на навантаженні;
- I1, U1 – конвертори з фізичних значень струму та напруги до Simulink значень;
- P1 – блок для обчислення потужності навантаження;
- Current1, Power1, Voltage1 – блоки для запису значень до робочого простору.

Модель реалізує ШІМ II роду з опорною пилкоподібною напругою.

На рис. 3.4 позначено:

- $U_{оп}=10$ В – задаюче значення напруги;
- In1 – сигнал зворотнього зв'язку;
- Out1 – керуючий сигнал;
- Subtract – елемент віднімання;
- Gain – ланка підсилення;
- Reapeating Sequence – генератор пилкоподібної напруги з амплітудним значенням $U_{гпн}=1$ В та періодом $T=100$ мкс;
- Relational operator – оператор порівняння;

- Controlsystem scope – блок для спостереження зміни напруги ГПН, сигналу похибки та результатів порівняння.

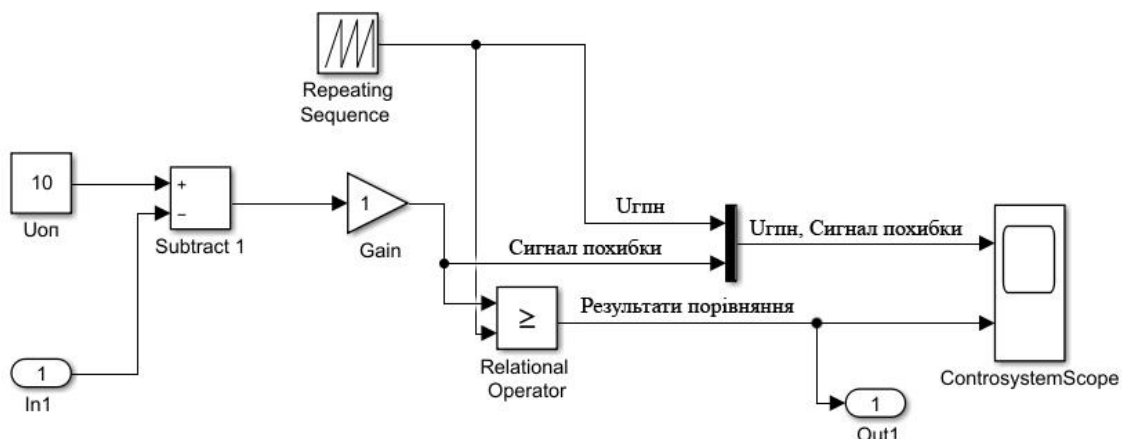


Рис. 3.4. Схема моделі системи керування підвищуючого широтно-імпульсного перетворювача

Схема моделі понижуючого широтно-імпульсного перетворювача СП наведена на рис. 3.5.

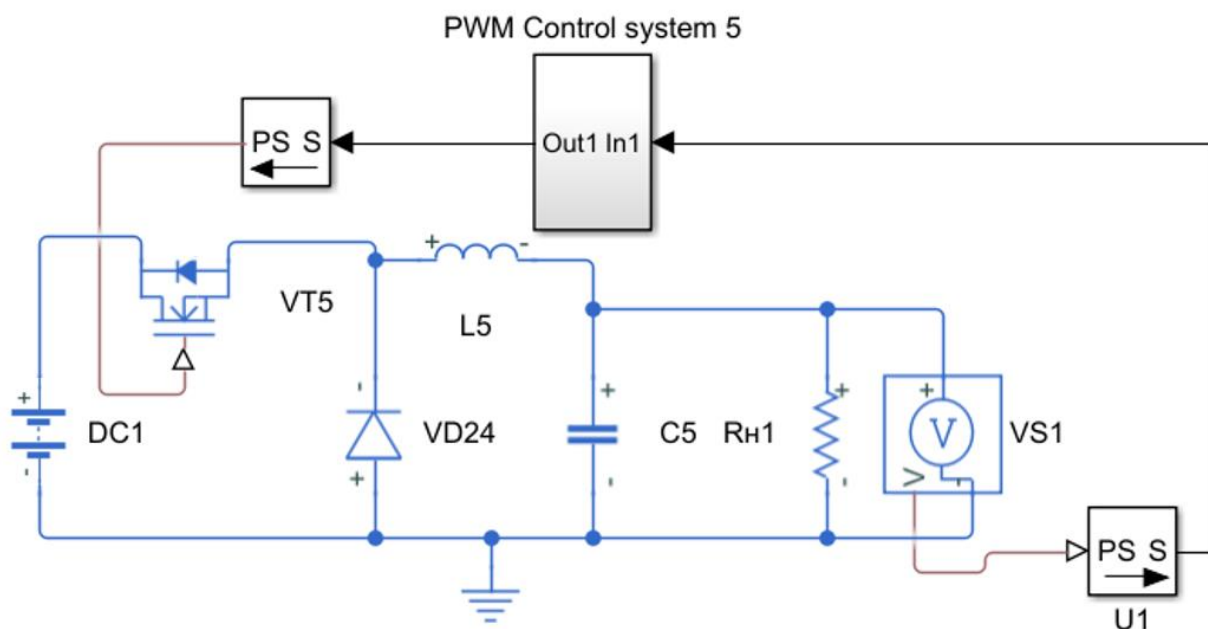


Рис. 3.5. Схема моделі понижуючого широтно-імпульсного перетворювача сонячної панелі

Модель містить наступні елементи:

- DC1 – акумуляторна батарея з напругою 15 В та внутрішнім опором 0.2 Ом;
- VT5 – ключ на основі МОП-транзистора;
- $L5=5.7$ мГн, $C5=6.1$ мФ – індуктивність та ємність фільтра;
- $R_{n1}=15$ Ом – активне навантаження;
- VD24 – напівпровідниковий діод;
- PWM Control system 5 – Система керування понижуючого широтно-імпульсного перетворювача зі стабілізацією вихідної напруги, схема моделі якої зображена на рис. 3.4;
- вимірювач миттєвих значень напруги (VS1) на навантаженні;
- U1 – конвертори з фізичних значень струму та напруги до Simulink значень.

3.3. Модель векторів руху проекції хмарного покриву

Вплив хмарного покриву на вихідну потужність СЕС визначається зміною інтенсивності сонячного випромінювання у певний інтервал часу для кожного ФЕ [27]. Для врахування цього впливу запропонована наступна імітційна модель вектору руху проекції хмарного покриву, схема якого наведена на рис. 3.6.

За рахунок зміни інтенсивності сонячного випромінювання за допомогою блоків Repeating Sequence Stair, а саме зменшенням значення інтенсивності випромінювання з 1000 Вт/м^2 до 100 Вт/м^2 для кожного ФЕ окремо на певному інтервалі часу.

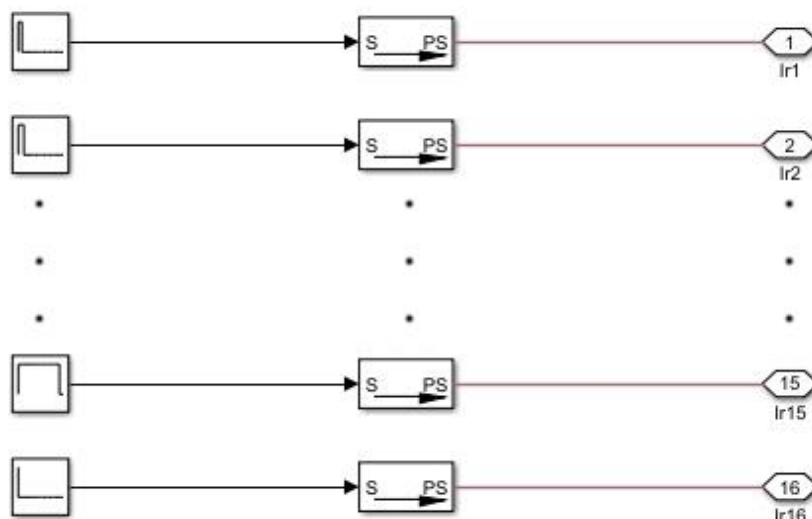
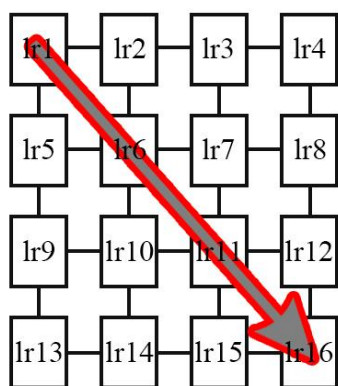


Рис. 3.6. Схема імітаційної моделі ефекту руху проекції хмарного покриву над сонячною панеллю

На рис. 3.7 запропоновано наступні напрямки векторів руху проекції хмарного покриву та їх задаючі параметри для відповідних блоків Repeating Sequence Stair.

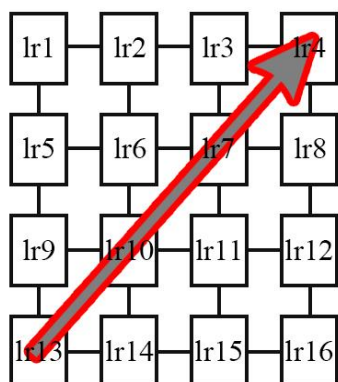


```

lr1 [1000 100 100 100 100 100 100 100].
lr2 [1000 1000 100 100 100 100 100 100].
lr5 [1000 1000 100 100 100 100 100 100].
lr3 [1000 1000 1000 100 100 100 100 100].
lr6 [1000 1000 1000 100 100 100 100 100].
lr9 [1000 1000 1000 100 100 100 100 100].
lr4 [1000 1000 1000 1000 100 100 100 100].
lr7 [1000 1000 1000 1000 100 100 100 100].
lr10 [1000 1000 1000 1000 100 100 100 100].
lr13 [1000 1000 1000 1000 100 100 100 100].
lr8 [1000 1000 1000 1000 1000 100 100 100].
lr11 [1000 1000 1000 1000 1000 100 100 100].
lr14 [1000 1000 1000 1000 1000 100 100 100].
lr12 [1000 1000 1000 1000 1000 1000 100 100].
lr15 [1000 1000 1000 1000 1000 1000 100 100].
lr16 [1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 100].

```

a)



```

lr13 [1000 100 100 100 100 100 100 100].
lr9 [1000 1000 100 100 100 100 100 100].
lr14 [1000 1000 100 100 100 100 100 100].
lr5 [1000 1000 1000 100 100 100 100 100].
lr10 [1000 1000 1000 100 100 100 100 100].
lr15 [1000 1000 1000 100 100 100 100 100].
lr1 [1000 1000 1000 1000 100 100 100 100].
lr6 [1000 1000 1000 1000 100 100 100 100].
lr11 [1000 1000 1000 1000 100 100 100 100].
lr16 [1000 1000 1000 1000 100 100 100 100].
lr2 [1000 1000 1000 1000 1000 100 100 100].
lr7 [1000 1000 1000 1000 1000 100 100 100].
lr12 [1000 1000 1000 1000 1000 100 100 100].
lr3 [1000 1000 1000 1000 1000 1000 100 100].
lr8 [1000 1000 1000 1000 1000 1000 100 100].
lr4 [1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 100].

```

b)

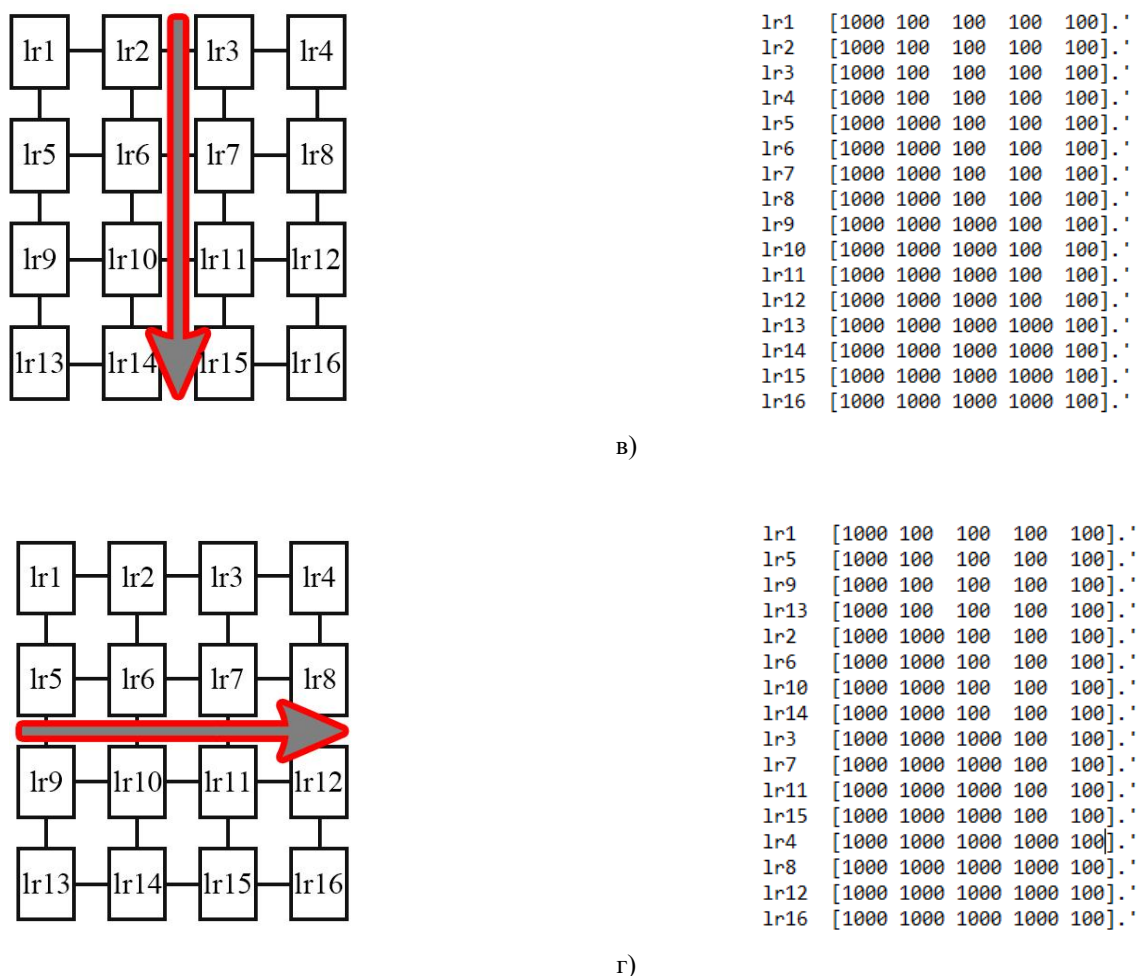


Рис. 3.7. Напрямки векторів руху проекції хмарного покритву та їх задаючі параметри: а) по діагоналі вниз; б) по діагоналі вгору; в) згори вниз; г) зліва на право

Враховуючи вплив векторів руху проекції хмарного покритву та розрахованих параметрів, проведемо моделювання системи для кожного варіанту.

3.4. Моделювання роботи сонячної електростанції

На рис. 3.8 запропонована модель роботи СЕС при різних векторах руху проекції хмарного покритву.

Модель містить наступні елементи:

- Solar Panel – модель СП;

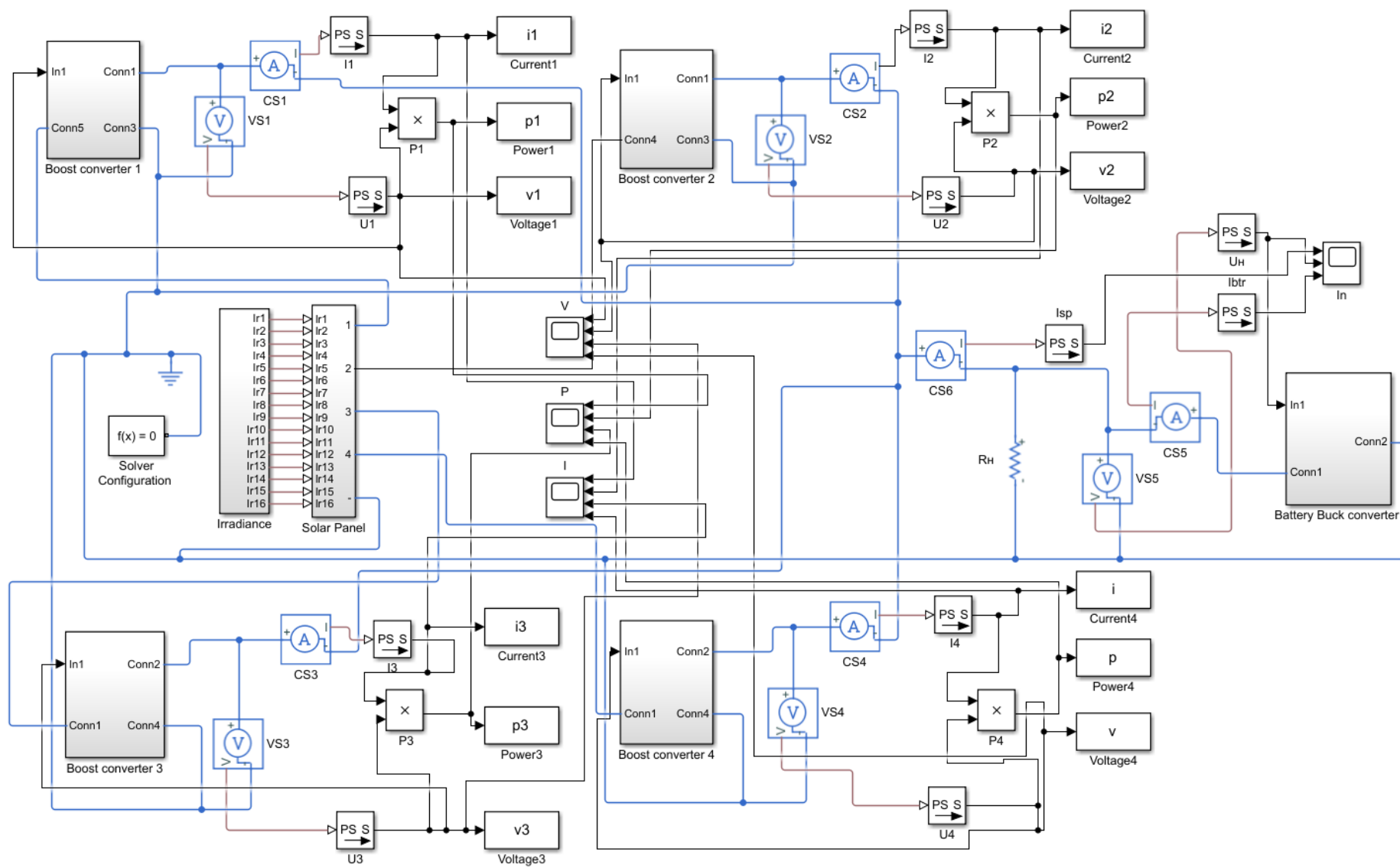
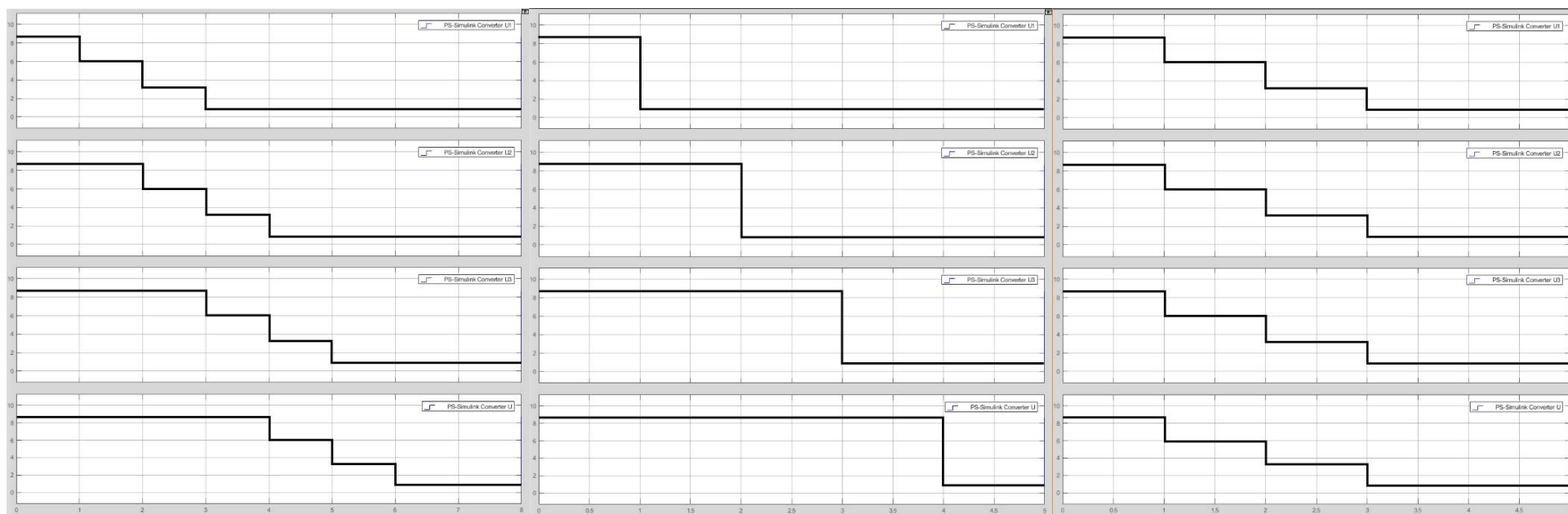


Рис. 3.8. Модель роботи СЕС

- Irradiance – імітаційна модель ефекту руху проекції хмарного покриву над сонячною панеллю;
- Battery Buck Converter — модель понижуючого широтно-імпульсного перетворювача СП з акумулятором;
- Boost Converter 1 - Boost Converter 4 – моделі підвищуючого широтно-імпульсного перетворювача СП;
- R_n – активне навантаження;
- Solver Configuration – визначає інформацію для моделювання з усіх блоків, що використовують «фізичні» сигнали і задає параметри для вирішення задачі моделювання;
- вимірювачі миттєвих значень струму (CS1 – CS6) та напруги (VS1 – VS5);
- I1 - I4, U1 – U4 – конвертори з фізичних значень струму та напруги до Simulink значень;
- P1 - P4 – блок для обчислення потужності навантаження;
- Current1 - Current4, Power1 - Power4, Voltage1 - Voltage4 – блоки для запису значень до робочого простору MATLAB.
- V, P, I, In - блоки для спостереження зміни напруги, потужності та струму відповідно.

Проведемо моделювання для кожного з векторів. На рис. 3.8 наведено часові характеристики вихідної напруги з кожної стійки СП без підключення та з підключенням широтно-імпульсних перетворювачів при різних векторах руху проекції хмарного покриву.

З отриманих результатів часових характеристик вихідної напруги з кожної стійки СП без підключення широтно-імпульсних перетворювачів видно, що вихідна напруга змінюється по-різному у певні інтервали часу в залежності від вектору руху проекції хмарного покриву.



а)

б)

в)

Рис. 3.8. Вихідні напруги $U(t)$ з СП без ШІП перетворювачів при різних векторах руху проєкцій хмар: а) по діагоналі вниз та вгору; б) зліва на право; в) згори вниз

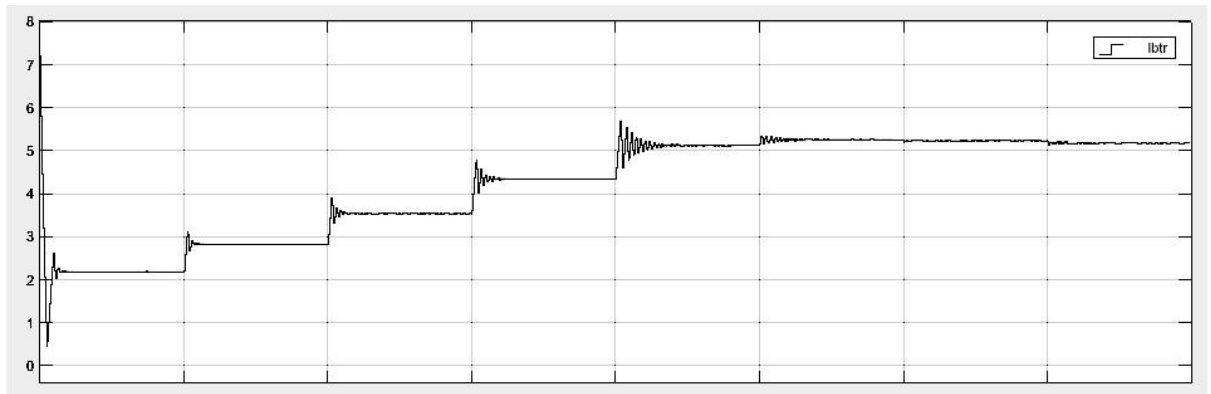


Рис. 3.9. Вихідний струм з акумуляторної батареї

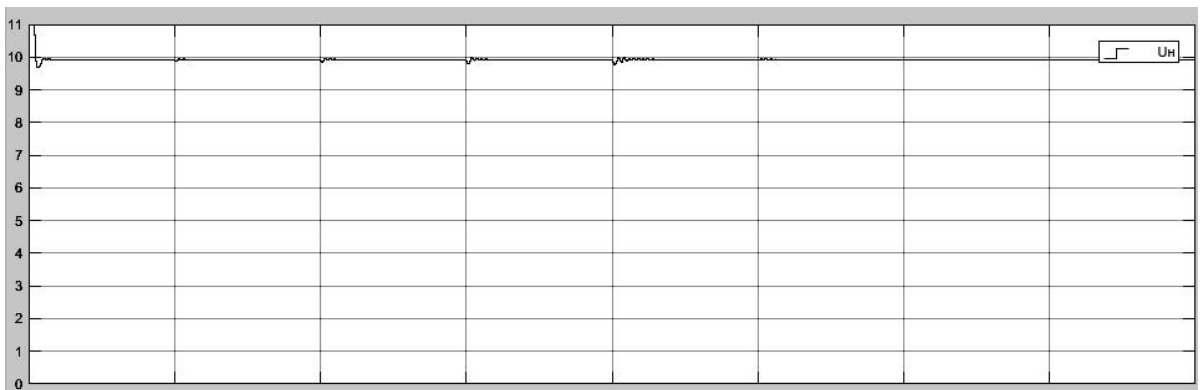


Рис. 3.10. Вихідні напруга на навантаженні

Так на рис. 3.8а видно, що при векторах направлених по діагоналі інтенсивність сонячного випромінювання зменшується до в кожній стійці поступово відповідно до заданого коду рис.3.7а та рис.3.7б, а отже відповідна кількість ФЕ перестають генерувати фотострум та починає зменшуватися максимальна напруга стійок на певних інтервал часу, що наведені в табл. 3.1.

Таблиця. 3.1

Інтервал часу (с)	Стійки			
	$U_{1\max}$ (В)	$U_{2\max}$ (В)	$U_{3\max}$ (В)	$U_{4\max}$ (В)
0-1	8.66	8.66	8.66	8.66
1-2	6	8.66	8.66	8.66
2-3	3.22	6	8.66	8.66
3-4	0.88	3.22	6	8.66

4-5	0.88	0.88	3.22	6
5-6	0.88	0.88	0.88	3.22
6-7	0.88	0.88	0.88	0.88
7-8	0.88	0.88	0.88	0.88

На рис. 3.8б видно, що при векторах направлених зліва на право інтенсивність сонячного випромінювання зменшується до 100 Вт/м^2 одночасно для всіх ФЕ в одній стійці за один інтервал часу інтервал, відповідно до заданого коду рис. 3.7г. У табл. 3.2 наведені зміни напруги на певних інтервалах часу для даного вектору.

Таблиця. 3.2

Інтервал часу (с)	Стійки			
	$U_{1\max} \text{ (В)}$	$U_{2\max} \text{ (В)}$	$U_{3\max} \text{ (В)}$	$U_{4\max} \text{ (В)}$
0-1	8.66	8.66	8.66	8.66
1-2	0.88	8.66	8.66	8.66
2-3	0.88	0.88	8.66	8.66
3-4	0.88	0.88	0.88	8.66
4-5	0.88	0.88	0.88	0.88

При векторі направленому згори (рис. 3.8в) вниз інтенсивність сонячного випромінювання зменшується одночасно для одного ФЕ у всіх стійках за один інтервал часу інтервал, відповідно до заданого коду рис. 3.7в. У табл. 3.3 наведені зміни напруги на певних інтервалах часу для даного вектору.

Таблиця. 3.3

Інтервал часу (с)	Стійки			
	$U_{1\max}$ (В)	$U_{2\max}$ (В)	$U_{3\max}$ (В)	$U_{4\max}$ (В)
0-1	8.66	8.66	8.66	8.66
1-2	6	6	6	6
2-3	3.22	3.22	3.22	3.22
3-4	0.88	0.88	0.88	8.66
4-5	0.88	0.88	0.88	0.88

Стабілізація напруги на навантаженні, при кожному векторі руху проекції хмарного покриву (рис. 3.7а, рис. 3.7б та рис. 3.7в), що зображена на рис. 3.10, відбувається за рахунок відбирання від акумуляторної батареї на 15 В необхідної кількості енергії, через понижуючий широтно-імпульсний перетворювач до 10 В, та зміну струму якої можна спостерігати на рис. 3.9

Висновки до третього розділу

Запропонована модель роботи сонячної електростанції з системою симуляції ефекту руху хмар при різних векторах інтенсивності сонячного випромінювання дозволяє проводити аналіз роботи сонячної електростанції та давати рекомендації щодо просторового розміщення та орієнтації сонячних панелей сонячної електростанції для забезпечення її роботи і режимі відбору максимальної енергії.

4. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП – ПРОЕКТУ

Завданням починаючого підприємця є створення саме конкурентоспроможного бізнесу, що можливо тільки при наявності певних теоретичних знань і практичних навичок. Стартап або стартап-компанія - компанія з короткою історією операційної діяльності. Як правило, такі компанії створені недавно, знаходяться в стадії розвитку або дослідження перспективних ринків.

Перерахуємо відмінні риси стартапа:

- "Молодість", компанія повинна бути створена недавно або перебуває в процесі становлення;
- Обмеженість у ресурсах, в тому числі і тимчасових, що обумовлено молодістю компанії;
- Наявність інноваційної технології, новизни;
- Ведення підприємницької діяльності індивідуальним підприємцем або мікропідприємства (2-10 чоловік);
- Відсутність чіткого поділу праці, чіткої організаційної структури.

Узагальнимо ідею поняття "стартапу". Це перш за все проект або нестандартна ідея, якому для успішності, розкрученості і прибутковості, необхідні чітке виконання на найвищому рівні, просування за допомогою маркетингових комунікацій і певні фінансові вкладення. А щоб проект зміг, що називається "вистрілити", необхідно грамотно поставити мету і об'єднати всі зусилля навколо вирішення головного завдання.

Етапи розроблення стартап-проекту:

1. Маркетинговий аналіз стартап-проекту

1. розробляється опис самої ідеї проекту та визначаються загальні напрями використання потенційного товару чи послуги, а також їх відмінність від конкурентів;

2. аналізуються ринкові можливості щодо його реалізації;
3. на базі аналізу ринкового середовища розробляється стратегія ринкового впровадження потенційного товару в межах проекту.

2. Організація стартап-проекту

1. складається календарний план-графік реалізації стартап-проекту;
2. розраховується потреба в основних засобах та нематеріальних активах;
3. визначається плановий обсяг виробництва потенційного товару, на основі чого формулюється потреба у матеріальних ресурсах та персоналі;
4. розраховуються загальні початкові витрати на запуск проекту та планові загальногосподарські витрати, необхідні для реалізації проекту.

3. Фінансово-економічний аналіз та оцінка ризиків проекту

1. визначається обсяг інвестиційних витрат;
2. розраховуються основні фінансово-економічні показники проекту (обсяг виробництва продукції, собівартість виробництва, ціна реалізації, податкове навантаження та чистий прибуток) та визначаються показники інвестиційної привабливості проекту (запас фінансової міцності, рентабельність продажів та інвестицій, період окупності проекту);
3. визначається рівень ризикованості проекту, визначаються основні ризики проекту та шляхи їх запобігання (реагування на ризики).

4. Заходи з комерціалізації проекту

1. визначення цільової групи інвесторів та опису їх ділових інтересів;
2. складання інвест-пропозиції (оферти): стислої характеристики проекту для попереднього ознайомлення інвестора із проектом;
3. планування заходів з просування оферти: визначення комунікаційних каналів та площадок та планування системи заходів з просування в межах обраних каналів;
4. планування ресурсів для реалізації заходів з просування оферти.

Означені етапи, реалізовані послідовно та вчасно – створюють передумови для успішного ринкового старту.

В рамках магістерської дисертації буде розглянуто перший етап розробки стартап-проекту, а саме маркетинговий аналіз стартап-проекту системи прогнозованого керування вибором енергії від сонячної електростанції.

4.1. Опис ідеї проекту (технології)

Спочатку було розроблено зміст ідеї та можливі базові потенційний ринки даного проекту в межах яких слід шукати потенційних клієнтів. В табл. 4.1 наведено напрямки застосування та вигоди для користувача.

Таблиця 4.1

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Зміст ідеї: створення та реалізація системи прогнозованого керування сонячною електростанцією для відбирання максимальної потужності;	1. Енергетика;	Збільшення виробу «чистої» електроенергії; Зменшення забруднень навколишнього середовища;
	2. Військові і технології;	Заряд електронної апаратури при відсутності енергетичних комплексів;
	3. Домогосподарство;	Енергонезалежність від державної електросистеми; Продаж енергії за «зеленим» тарифом.

Було визначено 3 напрямки застосування ідеї та вигоди для користувача.

Для того щоб оцінити ідею необхідно зробити аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї (відмінність від існуючих аналогів) порівняно із пропозиціями конкурентів. Було обрано 3 конкуренти.

В табл. 4.2 наведено визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту. Було визначено, що ідея має спроможність на конкуренцію та має унікальні властивості для ринку.

Таблиця 4.2.

№ п/п	Техніко-економічні характеристик и ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент1	Конкурент2	Конкурент3			
1.	Система відбору максимальної потужності	Відбір енергії від кожної стійки СП	МРРТ алгоритмом відстеження точки максимальної потужності методом збудження і спостереження	МРРТ	Не має			+
2.	МРРТ алгоритмом відстеження точки максимальної потужності методом збудження і спостереження та зростаючої провідності	Присутні обидва алгоритми керування	Присутній алгоритм збудження і спостереження	Присутній алгоритм зростаючої провідності	Не має			+
3.	Підтримування постійної підвищеної напруги на навантаженні за допомогою АКБ	Присутнє	Присутнє	Присутнє без підвищення	Присутнє		+	
4.	Прогнозування хмарного покриву	Прогнозування за допомогою вектору руху проекції хмарного покриву	Не має	Не має	Не має			+

4.2. Технологічний аудит ідеї проекту

Наступним кроком було розроблено технологічний аудит ринку для визначення доступності технологій для розробки програмного забезпечення (табл. 4.3).

Таблиця 4.3

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Прогнозоване керування СЕС	Розробка, дослідження, програмування;	Не наявна	Доступна
2	Оптимізація та розробка моделі імітації хмарного покриву	Розробка, дослідження, програмування;	Не наявна	Доступна
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: самостійна розробка на основі дослідження				

Для досягнення мети, необхідно виконати технічну реалізацію продукту.

4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Запропоновано визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту. Це дозволяє спланувати напрями розвитку проекту з урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів (табл. 4.4).

Таблиця 4.4

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	200
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	100000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Немає
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Є
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	69

При зростанні динаміки ринку та загальних обсягів продаж, даний проект є перспективним для подальшого розвитку.

Наступним визначимо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та сформуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 4.5).

Таблиця 4.5

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Відбір максимальної потужності від СЕС; прогнозування впливу хмарного покриття;	Простий користувач (для домашніх умов); Військові та служби; Сільськогосподарські системи;	Експлуатація як у динаміці так і у статичності, в різних, як складних, так і у умовах спокою;	- до продукції: Точність; Надійність; Енергонезалежність; Якість; - до компанії-постачальника: Точність; Брендінг та відомість; Гарантійність;

Була визначена цільова аудиторія та вимоги. Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища: складаються таблиці факторів (табл. 4.6, 4.7), що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають.

Таблиця 4.6

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Велика кількість опадів	Складність відбору максимально потужності;	Створення нових алгоритмів; пошук альтернативних матеріалів для СП
2	Конкуренція		
3	Зберігання інформації		

Таблиця 4.7

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Прогнозування	Максимальний відбір енергій з врахуванням прогнозу зміни освітленості	Маркетинг у цих напрямках для рекомендації себе, як компанії, на ринку;
2	Енергія		

Визначено що можливі загрози необхідно подолати фізичним способом. Надалі проводиться аналіз пропозиції: визначаються загальні риси конкуренції на ринку (табл. 4.8).

Таблиця 4.8

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Тип конкуренції: чиста	В кого краще - в того купують	Покращення товару та сфери обслуговування
2. За рівнем конкурентної боротьби: локальна	Належить до повсякденного ринку збуту;	Розширення функціоналу та орієнтації користувачів

3. За галузевою ознакою: міжгалузева	Притаманна різним галузям застосування;	Розширення функціоналу та галузей застосування
4. Конкуренція за видами товарів: товарно-родова та товарно-видова	Належить до аналізаторів поведінки людини	Розширення функціоналу пристрою
5. За характером конкурентних переваг: цінова та нецінова	Чим дешевше – тим привабливіше; Чим краще – тим рентабельніше;	Покращення цінової політики та якості товару
6. За інтенсивністю: не марочна	Не жорстка конкуренція	Агресивні та не агресивні форми піару

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (табл. 4.9) - матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities).

Таблиця 4.9

Сильні сторони:	Слабкі сторони:
Відбір максимальної потужності від кожної стійки СП; Отримання енергії на територіях з середньою кількістю опадів;	Мала потужність
Можливості:	Загрози:
Збільшення СП; Нові матеріали для ФЕ;	Велика кількість опадів; Мала потужність;

4.4 Розроблення маркетингової програми стратап-проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: вибір стратегії конкурентної поведінки та опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 4.10).

Таблиця 4.10

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1	Так	Буде шукати нових розширюючи функціонал і потенціал продукту, а також існуючі клієнти у конкурентів самовільно будуть використовувати більш кращий продукт	Ні, не буде, так як це зменшить клієнтську базу	Помірна, місцями агресивна

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього потрібно підсумувати результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару (табл. 4.11).

Таблиця 4.11

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Відбір максимальної потужності; Прогнозування впливу хмарного покриття;	Енергія	Створення надійного бренду; Постійний розвиток та апгрейд системи та компанії у всіх напрямках; Дотримуватися схеми ціна – якість; Розширення планів щодо користування сервісом

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу

проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субститути, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (табл. 4.12).

Таблиця 4.12

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
	180-200% від ціни нашого продукту	180-210% від ціни нашого продукту	20000 - 500000 грн зі 100 проданих од.	5000/600000 грн

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (табл. 4.13).

Таблиця 4.13

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Задоволення потреб користувача за автоматичним відбором	Збут товару та задоволення запитуваних потреб клієнтів	Усі можливі канали збуту (глибока)	Власна
2	максимальної потужності	Збут та реклама товару та задоволення запитуваних потреб клієнтів	Усі можливі канали збуту (глибока)	Залучена

Висновки до четвертого розділу

Провівши аналіз розроблювального проекту, можна зробити висновок про його можливу ринкову комерціалізацію. Збільшення попиту аналогічних послуг додає масовості придбання даної системи електроживлення, але створює жорсткі конкурентні умови виходу на ринок при сприятливій динаміці розроблюваного проекту.

Перспективи впровадження проекту мають високий рівень з огляду на потенційні групи клієнтів, якими виступають сільськогосподарські місцевості, військові служби та прості рядові користувачі. Завадами при входженні на ринок можуть бути відсутності масового виробника, сильний конкурентний тиск з боку великих фірм аналогічних продуктів. При агресивній стратегії боротьби конкурентному середовищі, проект отримає велику можливість зарекомендувати як бренд, що в свою приведе до свого місця на світовому ринку. Подальша імплементація проекту є доцільною та рентабельною.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В магістерській дисертації розроблено систему прогнозованого керування відбором енергії від сонячної електростанції. Отримані наступні наукові та практичні результати:

1. Проведений аналіз сучасних методів побудови сонячних електростанцій показав необхідність дослідження впливу хмарного покриву на вихідну напругу та умови відбору максимальної потужності від сонячних електростанцій.

2. Для моделювання ФЕ було обрано 5-праметрову модель з врахуванням струму короткого замикання та напруги холостого ходу. Блок СП складається з 16 фотоелементів, з'єднаних комбіновано по 4 ФЕ у рядку та 4 ФЕ у стійці. Для підвищення напруги з виходу СП використано підвищуючий широтно-імпульсний перетворювач до 10 В. Для підтримання підвищеного рівня напруги використано модель АКБ на основі джерела струму 15 В підключеному до навантаження через понижуючий широтно-імпульсний перетворювач.

3. Вплив хмарного покриву на вихідну потужність СЕС визначається зміною інтенсивності сонячного випромінювання у певний інтервал часу для кожного ФЕ. Для врахування цього впливу запропонована імітційна модель вектору руху проекції хмарного покриву на основі блоків Repeating Sequence Stair.

4. Запропонована модель роботи сонячної електростанції з системою симуляції ефекту руху хмар при різних векторах інтенсивності сонячного випромінювання дозволяє проводити аналіз роботи сонячної електростанції та давати рекомендації щодо просторового розміщення та орієнтації сонячних панелей сонячної електростанції для забезпечення її роботи і режимі відбору максимальної енергії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Куцаченко Є. Р., Клен К. С. Вибір параметрів фотоелемента для моделювання сонячної панелі // Матеріали Всеукраїнської Науково-практичної конференції «Новітні Технології Сучасного Суспільства» (НТСС-2018). - 2018. - Т. 21, № 6. - С. 48-50. - Режим доступу: http://inel.stu.cn.ua/ntss/NTSS_2018_tesy.pdf.
2. Жуйков В.Я., Клен К.С., Куцаченко Є.Р. Імітаційне моделювання руху проекції хмар над площиною сонячної електростанції. // Мікросистеми, Електроніка та Акустика. – 2018.
3. Renewable energy players leading the way in Ukraine, <https://www.kyivpost.com/technology/renewable-energy-players-leading-way-ukraine.html> [Електронний ресурс].
4. M. Bazilian, I. Onyeji, M. Liebreich, I. MacGill, J. Chase, J. Shah, D. Gielen, Doug Arent, Doug Landfear and Shi Zhengrong «Re-considering the economics of photovoltaic power». 2013, Renewable Energy.
5. Swanson, R. M. «Photovoltaics Power Up», 2009 Science 324, 2009, pp. 891-892.
6. Branker, K., Pathak, M.J.M., Pearce, J.M. (2011). «A Review of Solar Photovoltaic Levelized Cost of Electricity» 2011, Renewable and Sustainable Energy Reviews.
7. Photovoltaics Report, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. November 7, 2013.
8. D. Karamov, “Mathematical modelling of solar radiation based on open access long-term meteorological observation data,” Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering, vol. 328 (6), pp. 28 – 37, 2017. (Russian).

9. V. Dmitrienko, B. Lukutin, "Method for estimating solar radiation energy for photovoltaic plants," Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering, vol. 328 (5), pp. 49 – 55, 2017. (Russian).

10. Сонячна енергетика в Україні, <https://msb.aval.ua/news/?id=27728> [Електронний ресурс].

11. Ривок до сонця: Україну "зігріють" сонячні інвестиції <https://news.finance.ua/ua/news/-/249652/ryvok-do-sontsya-ukrayinu-zigriyut-sonyachni-investytsiyi> [Електронний ресурс].

12. Енергетична стратегія України до 2030 року. Прогнозування балансів паливно-енергетичних ресурсів. – 2006. – 129 с.

13. Сонячна електростанція, http://ishop.sutem.com.ua/articles/topics/solar_energy/SES [Електронний ресурс].

14. Как подключить Солнечные Панели, <https://oporasolar.ru/a171460-kak-podklyuchit-solnechnye.html> [Електронний ресурс].

15. C. E. Fritts «On a new form of selenium cell, and some electrical discoveries made by its use», Am J Sci December 1883 Series 3 Vol. 26:465-472.

16. Explorer-I and Jupiter-C <https://history.nasa.gov/sputnik/expinfo.html> [Електронний ресурс].

17. Crystalline Silicon PV Technology http://astro1.panet.utoledo.edu/~relling2/teach/archives/4400.2014/20140325_PHYS4400_Lecture%2015%20-%20c-Si%20PV.pdf [Електронний ресурс].

18. Метеорология и климатология: учебник. – 7-е изд./С.П.Хромов, М.А.Петросянц. – М.:Изд-во Моск. Ун-та: Наука, 2006ю – 581с.:илл.- (Классический университетский учеьник).-ISBN 5-211-05207-2.-ISBN 5-02-035762-6(в пер.)

19. Перетворювальна техніка. Підручник. Ч. 2 / Ю.П. Гончаров, О.В. Будьонний, В.Г.Морозов, М.В. Панасенко, В.Я. Ромашко, В.С. Руденко. – Х.: Фоліо, 2000. – 360 с.

20. Ромашко В.Я. До питання про відбір максимальної потужності від джерел електричної енергії // *Електроника и связь*. – 2013. – № 4. – С. 28 – 34.
21. Pradeep Kumar Yadav A., Thirumaliah S., Haritha G. Comparison of MPPT Algorithms for DC-DC converters based PV systems. *Directory of open access journals*. 2013.
22. T. Jarmuda, S. Mikulski, R. Nawrowski, A. Tomczewski / The use of the MATLAB & SIMULINK environment to simulate the operation of a PV panel with an actual input function.
23. Технічна документація MATLAB. <https://matlab.ru/products/simulink> [Електронний ресурс].
24. Y. Liu, S. Huang, J. Huang and W. Liang, "A Particle Swarm Optimization-Based Maximum Power Point Tracking Algorithm for PV Systems Operating Under Partially Shaded Conditions," in *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 27, no. 4, pp. 1027-1035, Dec. 2012.
25. X. Liu, P. Wang and P. C. Loh, "A Hybrid AC/DC Microgrid and Its Coordination Control," in *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 2, no. 2, pp. 278-286, June 2011.
26. B. P. Nayak and A. Shaw, "Design of MPPT controllers and PV cells using MATLAB Simulink and their analysis," *2017 International Conference on Nascent Technologies in Engineering (ICNTE)*, Navi Mumbai, 2017, pp. 1-6.
27. H. Patel and V. Agarwal, "MATLAB-Based Modeling to Study the Effects of Partial Shading on PV Array Characteristics," in *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 23, no. 1, pp. 302-310, March 2008.

ABSTRACT

Actuality of theme. In recent decades, in the world and Ukraine are widely used power plants with renewable energy sources, which already accounts for 1.8% of Ukraine's energy. Photovoltaic array systems (PV-array) are renewable energy sources and are widely used for power supply of electronic equipment and household consumers. In 2010, Ukraine did not have any major PV-array, and in 2011 the country already had 67.55 MW capacity batteries, the largest solar park in Europe and the world was built in Crimea. In a short time, Ukraine succeeded in making a leap and reaching the top pace with the development of photovoltaics. The installed peak power of PV-array in Ukraine in 2017 amounted to 742 MW.

Photovoltaic is a method for generating electricity by converting solar irradiance energy into a constant electric current using semiconductor materials that exhibit photovoltaic effects. The photovoltaic system uses solar panels, which consist of a plurality of solar cell for obtaining useful solar power.

Electricity production through solar panel has long been considered as an environmentally friendly energy technology, based on the use of the most affordable and rich source of renewable energy of the planet - the energy of the sun. Direct conversion of sunlight into electricity occurs without any moving mechanisms or emissions to the environment during the operation of the joint venture. This technology has proven itself well in the form of photovoltaic systems, which have been used for more than fifty years in specialized industries, and photovoltaic systems have been used in the network for more than 20 years.

With further advancements in the field of technology and scale up of production and its improvement, the cost of the joint venture has continuously decreased since the first solar cell were manufactured, which made the electricity thus obtained not less cost effective than the energy generated by traditional sources of electricity in sufficiently many geographic regions. Taking into account modern

technologies, the energy expended on the production of solar cell pays for 1.5 (in Southern Europe) - 2.5 years (in Northern Europe).

The maximum level of energy that can be obtained from PV-array is determined by the average monthly intensity of solar radiation, the total area of the main generation elements - solar panels and the efficiency factor. Intensity, in turn, depends on the geographical location, climatic conditions, time of day, the transparency of the atmosphere, the presence of clouds, the nature of the main surface, and others.

There are several methods for assessing the level of energy that can be obtained from solar panel, including: 1) the use of light sensors; 2) fixing the position of the operating point on the voltage-current characteristic and the power curve of the solar Panel; 3) use of algorithms for finding the point of maximum power. To measure the energy level that can be obtained from the PV-array, it is necessary to measure the current at the output of individual solar panels.

Therefore, the task of assessing the dependence of the total current of the PV-array on the intensity of the solar radiation and the currents at the output of individual solar panels and the selection of the maximum power from them is relevant. To solve this problem, it is necessary to develop a simulation model of the projection of clouds over the plane of the PV-array and a control system that will take this into account and provide a mode for selecting the maximum power from the PV-array.

The purpose and tasks of the research. The purpose of this work is to develop a control system for a PV-array, taking into account the effect of cloud cover movement. To achieve the goal, the following tasks are solved:

1. Analysis of modern power supply systems with PV-arrays.
2. Determination of parameters and construction of a PV-array.
3. Computer simulation of the work of a PV-array, taking into account the direction of the vector of motion of the projections of the cloud cover.

The object of the research is the process of selecting energy from solar panels, taking into account the influence of the direction of motion of the projection of the cloud cover.

The subject of the research is the power supply systems with solar panels.

Research methods. Solving the tasks set in the work, the theory of electric circuits and mathematical methods of the solution of differential equations were used. Simulation of processes in the solar power plant was carried out using the software package Matlab Simulink.

The scientific novelty of the results obtained is as follows:

1. For the first time a PV-array model has been developed taking into account the direction of motion of the projection of the cloud cover.
2. Forecasting the direction of motion of the projection of cloud cover is carried out by measuring the current of the corresponding racks of the solar panels.

The practical value of the results obtained:

Based on the simulation results, recommendations are given regarding the spatial location and orientation of the solar panels of the PV-array to ensure its operation in the mode of selection of maximum power.

Personal applicant's fee. In the works published with co-authors, the author in [1] is to search and analyze information on the choice of photocell parameters for solar panel modification, editing, design; In [2] the search and analysis of information on methods of simulation of the motion of the projection of clouds over the PV-array., Editing, design, development of a PV-array model, an increasing and decreasing pulse width converter and vector of motion of the projection of cloud cover over a solar power station.

Test work.

The results of the dissertation research were reported and discussed at the Ukrainian Scientific and Practical Conference ""Novel Technologies of Smart Society" (NTSS-2018). - 2018, Chernihiv.

Publications The main provisions and results obtained in the dissertation work were described in the following articles:

1. Y. Kutsachenko, K. Klen, Selection of photocell parameters for modeling of the solar panel // Materials of the Ukrainian Scientific and Practical Conference "Novel Technologies of Smart Society" (NTSS-2018). - 2018. - T. 21, No. 6. - P. 48-50. - Access mode: http://inel.stu.cn.ua/ntss/NTSS_2018_tesy.pdf.

2. V. Zhuikov, K. Klen, Y. Kutsachenko, Imitation modeling of the motion of the projection of clouds over the PV-array. // Microsystems, Electronics and Acoustics. - 2018

Structure and scope of work. Master's work consists of an introduction, four sections, conclusions, list of used sources of 27 titles. The total volume of the master's thesis is 91 pages, including 70 pages of the main text, 33 figures and 22 tables.